INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia de Electrónica

Telecomunicações e de Computadores

Red Light (Processo contra-ordenacional em meio urbano)

José Augusto Rezende Pereira

(Bacharel)

Trabalho Final de Mestrado para Obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de Electrónica e Telecomunicações

Orientador:

Professor Adjunto Manuel Augusto Vieira

Júri:

Presidente:

Professor Coordenador Maria Manuela Almeida Carvalho Vieira

Vogal:

Carlos Gomes Pereira
Presidente do Colégio de Especialidades de Engenharia
De Transportes
OET

Setembro de 2012

Tese realizada sob orientação do Doutor Manuel Augusto Vieira, professor adjunto do Departamento de Engenharia Electrónica e Telecomunicações

Red Light Processo Contra-Ordenacional em Meio Urbano

José Augusto Rezende Pereira

ISEL DEETC

25118@alunos.isel.ipl.pt

Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

Agradecimentos

Ao Professor Doutor Manuel Vieira que, na qualidade de orientador, disponibilizou o seu tempo e sabedoria, fornecendo conselhos úteis.

A todos os colegas que me apoiaram durante o mestrado, deste modo tornaram mais acessível o objectivo de alcançar este grau académico, sendo esta uma árdua tarefa para um trabalhador estudante.

Por último quero agradecer à minha família, pela confiança em mim depositada, pela paciência demonstrada ao longo dos anos em que frequentei este estabelecimento de ensino, privando-os, muitas vezes da minha presença.

Palavras-chave:

Sinistralidade

Veículo prioritário

Gestão de tráfego

Violação do semáforo Vermelho (VSV)

Resumo

Devido ao acréscimo significativo de viaturas e peões nas grandes cidades foi necessário recorrer aos mecanismos existentes para coordenar o tráfego. Nesta perspectiva surge a implementação de semáforos com o objectivo de ordenar o tráfego nas vias rodoviárias.

A gestão de tráfego, tem sido sujeita a inovações tanto ao nível dos equipamentos, do software usado, gestão centralizada, monitorização das vias e na sincronização semafórica, sendo possível a criação de programas ajustados às diferentes exigências de tráfego verificadas durante as vinte e quatro horas para pontos distintos da cidade.

Conceptualmente foram elaborados estudos, com o objectivo de identificar a relação entre a velocidade o fluxo e o intervalo num determinado intervalo de tempo, bem como a relação entre a velocidade e a sinistralidade.
Até 1995 Portugal era um dos países com maior número de sinistros rodoviários

Na sequência desta evolução foram instalados radares de controlo de velocidade no final de 2006 com o objectivo de obrigar ao cumprimento dos limites de velocidade impostos pelo código da estrada e reduzir a sinistralidade automóvel na cidade de Lisboa.

Passados alguns anos sobre o investimento realizado anteriormente, constatamos que existe a necessidade de implementar novas tecnologias na detecção das infracções, sejam estas de excesso de velocidade ou violação do semáforo vermelho (VSV), optimizar a informação disponibilizada aos automobilistas e aos peões, coordenar a interacção entre os veículos prioritários e os restantes presentes na via, dinamizar a gestão interna das contra ordenações, agilizar os procedimentos informatizar a recolha de informação de modo a tornar os processos mais céleres.

Keywords:

Traffic light

Vehicle

Traffic Management

Road Safety

Abstract:

Due to the significant increase of vehicles and pedestrians in modern cities, it was necessary to use modern technologies to coordinate traffic. One of the first steps was the installation of traffic lights.

Since the beginning of the 20th century this issue has been studied and the traffic management has been updated in several different levels.

From the simple traffic light to the most complex control system, everything has been changed, with special emphasis on the improvement of the communications capabilities, and processor capacity. On the software approach different algorithms were developed in the last years.

During these years, some studies were made in order to identify the relations between speed, traffic flow and car accidents and road safety. Until 1995 Portugal was the European country with the highest number of car accidents per million of habitants.

The radar speed control units were installed in Lisbon city at the end of 2006. There were also installed several information panels with the dissuasion objective to oblige people to respect speed limits, imposed by traffic rules and reduce the number of car accidents.

A few yeas later, Lisbon authorities need to implement new technologies for the detection of the offenders. They need to control and monitorise excessive speed and disregard for the traffic light signals. They also improve the type of information available to motorists and pedestrians.

One of the main goal for this, is to improve the management of the documental process in order to obtain all information regarding the disregard vehicle and input the responsibility of this acts to is owner, by a quick notification according to legislation.

Índice

Índice Figuras

Índice Gráficos

Índice Tabelas

Índice Equações

Lista de Siglas

G.E - General Electric.

NEMA – National Electric Manufactures Association

ATC – Advanced Transportation Controller

CALTRANS – California Department of Transport

NTCIP – National Transport Communication for ITS Protocol

AASHTO – American Association of State Highway and Transportation Officials

ITE – Institute of Transportation Engineers

DATEX-ASN – Modelo de camadas semelhante ao modelo OSI.

CAM – Cooperative Awareness Messages

European IST – Sociedade Europeia das Tecnologias de informação

RSU – Road Side Units

V2V – Comunicação Veículo a Veículo

V2I – Comunicação Veículo a Infra-estrutura

VSV – Violação Semáforo Vermelho

DSRC – Dedicated Short Range Communications

Vph – Veículos por Hora

WSN – Redes de Sensores Sem Fios

LIDAR – Light Detection and Ranging

OCR – Reconhecimento óptico de caracteres

XML – Extensible Markup Language

AG – Algoritmos Genéricos

PD – Programação Dinâmica

PDA – Programação Dinâmica Adaptada

CAM – *Cooperative Awarness Messages*

1. CAPITULO I

Introdução

1.1 Motivação

Devido à evolução contínua da nossa sociedade e à necessidade de deslocar pessoas e mercadorias, aumentando a sua dependência dos meios de transporte nomeadamente o automóvel, surge um incremento significativo do número de viaturas a circular e consequente aumento dos congestionamentos em meio urbano. Como consequência ocorre o aumento do número de infracções ao código da estrada, com todos os problemas que lhe estão associados, como por exemplo os acidentes rodoviários, congestionamentos de tráfego, atrasos no movimento de pessoas e bens, perda total ou parcial de bens, sinistros com danos físicos em pessoas e perda de vidas humanas.

A segurança dos peões é, e deve ser, uma das principais preocupações na implementação de políticas de controlo de tráfego e redução da sinistralidade. Segundo estudos efectuados e dados estatísticos obtidos, os peões com idades inferiores a 14 anos e os peões na faixa etária designada por terceira idade, em caso de atropelamento, têm uma menor probabilidade de sobreviver aos ferimentos infligidos. Para os dados obtidos, um dos factores chave é a velocidade a que se deslocam os veículos no momento da colisão.

De acordo com o mesmo estudo a redução da velocidade em 2,5 km/h traduz-se na redução dos ferimentos em cerca de 5 %. O mesmo estudo efectuado por **Pasanen** em 1992 estabelece uma relação entre os ferimentos graves e probabilidade de sobrevivência e a velocidade do veículo conforme gráfico abaixo. [1]
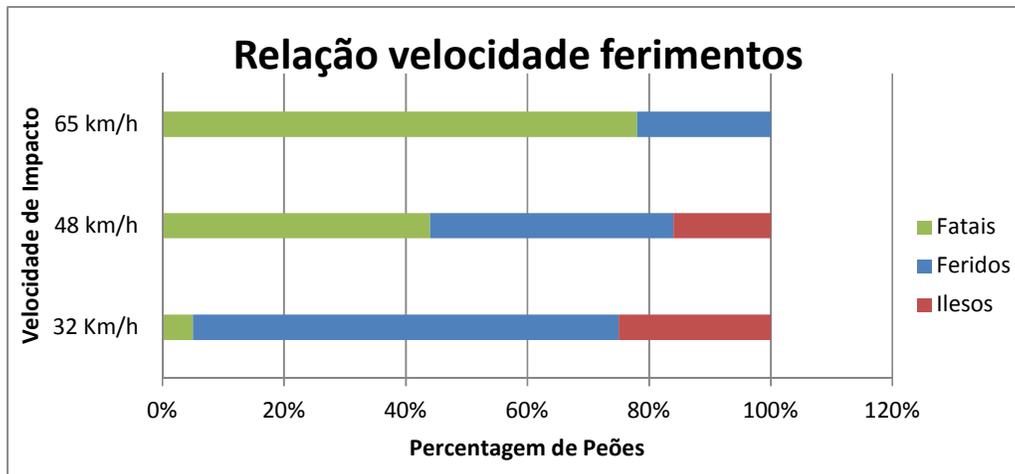
Gráfico1 – Relação velocidade ferimento infligido

No cenário menos pessimista teremos perda de produtividade e eficiência dos recursos disponíveis. Neste documento pretende-se apresentar as diferentes estratégias a serem implementadas na gestão e controlo de tráfego em área urbanas e sua importância para a o aumento da qualidade de vida numa cidade.

1.2 Principais Desafios

O crescimento das cidades gera um aumento do fluxo de tráfego das vias em geral. A intensidade dos fluxos de veículos e pedestres nas vias e determinar o tipo de implementação a seguir no que respeita ao controlo de tráfego numa determinada via de comunicação terrestre.

Nas vias onde o fluxo de veículos aumenta devido ao crescimento da cidade, nestas zonas urbanas vão ocorrendo alterações significativas na topologia dos imóveis bem como na aplicação que lhes é destinada, lentamente zonas residenciais vão sendo convertidas em escritórios ou estabelecimentos comerciais e de serviços. O fluxo intenso de veículos e de pedestres compromete a qualidade de vida dos moradores que ainda habitam nessas zona que por sua vez acabam por procurar outros locais para residir, promovendo a desertificação de determinadas zonas da cidade e influenciando deste modo a alteração dos padrões de tráfego.

Numa primeira fase foram implementados mecanismos de fiscalização rodoviária com o objectivo de dissuadir o automobilista e promover o respeito do código da estrada através da punição dos infractores. Constitui um desafio a análise dos mecanismos existentes identificar as possíveis alterações a serem efectuadas de modo a controlar a infracção dos limites de velocidade impostos pelo código da estrada bem como o desrespeito da sinalização vertical luminosa.

Os semáforos, são dispositivos de controlo de tráfego que regulam o direito de passagem dos veículos e dos peões de duas ou mais vias que se cruzam (cruzamento em nível), permitindo a passagem simultânea de movimentos compatíveis, ao mesmo tempo que retém os restantes.

Nas vias em que existem semáforos, de modo a garantir a fluidez no tráfego, há que ter em consideração os aspectos relacionados com a segurança, fluidez e conforto. É necessário o controlo eficaz dos semáforos, desde a sua instalação até a atribuição dos tempos de operação, compatíveis com a segurança, volume de tráfego e capacidade viária, com a monitorização constante da sua operação e manutenção.

A importância da gestão eficiente dos semáforos de uma cidade, desde a análise das solicitações de sinalização, dos critérios para escolha da melhor solução, passando pela implementação dos semáforos quando forem necessários, garantir os níveis de prontidão do equipamento através de acções de manutenção programada, evitando deste modo tempos elevados de inoperância ou falha no serviço tendo em conta as zonas mais criticas da cidade de Lisboa. Os resultados serão de melhoria na qualidade de vida da população, através da redução do tempo de deslocação, poluição ambiental, economia de recursos na diminuição dos atrasos e redução de acidentes.

Gerir o elevado número de contravenções detectadas, promover a celeridade na identificação dos veículos envolvidos em infracções ao código da estrada, reduzir de modo real as situações de impunidade e sistemático desrespeito pelas regas de trânsito, promover o civismo e boa conduta são os objectivos pretendidos.

1.3 Organização e desenvolvimento do documento

A dissertação encontra-se dividida em quatro fases distintas, a primeira fase destina-se a efectuar o estudo detalhado dos diferentes sistemas bem como a evolução histórica dos semáforos desde da sua primeira aplicação até à actualidade. Em conjunto abordarei as diferentes estratégias e algoritmos usados no controlo de tráfego. Ainda dentro do mesmo capítulo serão focadas as diferentes tecnologias usadas na gestão de tráfego, abordando as diferentes áreas tecnológicas passando pelos sensores de detecção de veículos, as redes de telecomunicações os radares de controlo de velocidade e os painéis informativos.

Na fase seguinte pretende-se prescrever um conjunto de alterações ao nível físico sugerindo a implementação de novos equipamentos em pontos estratégicos ou o reposicionamento dos existentes. No âmbito do software, efectuando pequenos ajustes na temporização ou sugerindo abordagens diferente no que respeita os algoritmos de controlo.

Abordar as diferentes metodologias usadas no estudo das acções correctivas bem como as novas soluções disponíveis na detecção dos infractores em cenários reais de tráfego urbano e descrição dos pontos onde foi focalizado este estudo, é o principal objectivo.

No plano da gestão documental vou analisar a possibilidade de recorrer à fotografia digital e à tecnologia de reconhecimento de texto permitindo optimizar o processo burocrático minimizar os recursos humanos neste sector e obter maior celeridade no processo inerente á contra ordenação, permitindo assim a rápida identificação do proprietário do veiculo infractor e sua notificação dentro dos prazos estipulados por lei evitando assim a sua prescrição.

Pretende-se avaliar o impacto que as alterações poderão produzir na redução da sinistralidade rodoviária, na redução dos congestionamentos, efectuar o estudo nos períodos de maior tráfego em locais estratégicos, avaliar a possível impacto das alterações consideradas no desempenho dos serviços urgência.

Por fim apresento as conclusões tendo em vista os contributos para uma melhoria do desempenho no processo burocrático inerente às contra ordenações no meio urbano integrado na política de transportes.

2 CAPITULO II

Revisão do Estado da Arte

2.1 Evolução histórica dos semáforos

Nada melhor do que começar por descrever a evolução histórica dos semáforos ao longo dos anos, desde da sua criação até aos nossos dias, numa primeira fase vou descrever a evolução dos semáforos com base nas implementações efectuadas no estrangeiro. Num segundo subcapítulo irá descrever a evolução dos semáforos na cidade de Lisboa dado que o estudo vai incidir na implementação de alterações ao sistema existente em Lisboa.

O sistema semafórico por si só é uma solução pluridisciplinar, sendo por isso imprescindível o conhecimento de algumas técnicas, topologias e tecnologias vigentes. Para a implementação destes sistemas, há que ter em linha de conta as diversas vertentes de uma instalação começando pela obra civil, passando pela estrutura metálica, cablagem de alimentação e comunicação de dados, os componentes electrónicos e por último o software de controlo. No âmbito da tese vou abordar as áreas referentes aos componentes electrónicos, protocolos de comunicação e meios de comunicação e algoritmos de controlo de tráfego.

Devo salientar que ao contrário do que sucede noutras áreas do conhecimento não existe uma padronização rígida mas sim diversos caso de estudos separados - num mesmo país podiam-se encontrar implementações distintas de cidade para cidade. Actualmente convergem para um standard no entanto no que respeita às temporizações e aos algoritmos de controlo usados, existem abordagens bastante díspares. No que respeita ao hardware, no início vamos encontrar especificações propriedade dos fabricantes, no entanto tendem a convergir para um padrão com o objectivo de atingir a interoperabilidade entre os diferentes sistemas disponíveis no mercado.

No estudo efectuado, virão a ser abordadas inovações alcanças no campo do hardware e do software. A partir de 1964 a evolução nos algoritmos de controlo de tráfego começa a ser notória. Como modelo de análise da evolução dos semáforos, vou basear o estudo inicial no desenvolvimento efectuado nos Estados Unidos.

Os semáforos surgiram devido à necessidade de regular o tráfego de veículos. Remonta ao ano de 1868 a sua primeira implementação num cruzamento em Londres. O seu funcionamento consistia numa lanterna rotativa onde através da rotação do seu mecanismo eram exibidas as cores vermelha, laranja e amarela, à semelhança do usado actualmente. Este sistema esteve em funcionamento até Janeiro de 1869, tendo então ocorrido uma explosão que feriu com gravidade o polícia que comandava este dispositivo.[2]
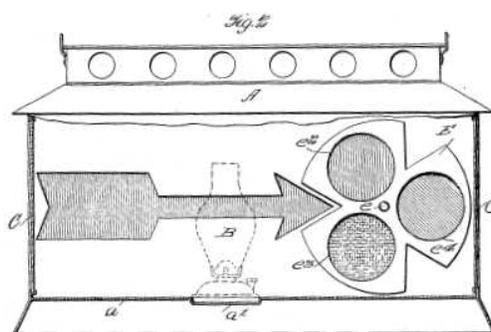
Figura 1 – Primeiro Semáforo

Os dispositivos de controlo de tráfego electromecânicos semelhantes aos usados no presente remontam a 1909, tendo sido efectuadas diversas implementações entre 1909 e 1919. No entanto, a que mais se assemelha aos semáforos dos dias de hoje foi efectuada por William L Potts em 1920. Adaptou a sinalética luminosa existente para os comboios num dos cruzamentos mais críticos da sua cidade. Potts acrescentou a luz amarela como modo de avisar os motoristas da transição que iria ocorrer dentro de instantes. Um ano mais tarde existiam em funcionamento cerca de 50 semáforos.
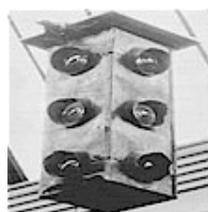
Figura 2 – Primeiro semáforo eléctrico

A primeira patente para a produção de semáforos foi atribuída à empresa **Garret Morgan** em 1923. Mais tarde esta patente foi vendida à **General Electric**. Este tipo de semáforos foram evoluindo ao longo dos anos e em 1935 foram definidas nos Estados Unidos as primeiras normas com o objectivo de padronizar os semáforos quanto à forma dimensão e grafismo de modo a serem iguais em todos os estados. Estas normas foram editadas no *Manual on*

Uniform Traffic Control Devices. Os semáforos mantiveram esta topologia ao longo dos anos, e tecnologicamente viriam a ser descontinuados no início da década de sessenta.

Nesse mesmo ano surgiu a primeira implementação de semáforos controlados por computador na cidade de Los Angeles, os seus passos foram seguidos pela cidade de Toronto. A cidade de Toronto foi a primeira cidade do mundo a ter um sistema centralizado e controlado por computador, tendo sido concluída a sua instalação em 1963. Com este sistema vieram os primeiros algoritmos de controlo de tráfego para situações de cruzamentos saturados recorrendo à redução do tempo de ciclo na sequência de estudos efectuados por ***Gazis*** entre 1964 e 1965. No entanto, verificou-se que o sistema implementado era pouco robusto e tolerante às falhas devido à tecnologia existente naquela data nomeadamente os computadores, às falhas nas comunicações associadas à menor robustez das linhas telefónicas existentes na época bem com nos sensores de pressão instalados.[3]

Em 1968 foi proposta uma nova estratégia para ser aplicada nos cruzamentos saturados. A gestão das filas era feita de modo a garantir que o número mínimo de cruzamentos secundários ficaria bloqueado. O algoritmo fazia variar o tempo do sinal verde entre um valor máximo e um valor mínimo para garantir o balanceamento da carga. Assim que o cruzamento deixasse de estar saturado o algoritmo deixava de ser aplicado.

No início da década de setenta surgem os primeiros semáforos controlados por micro controladores onde o sistema é separado em dois componentes principais o software e o hardware as comunicações passaram a ser feitas com o recurso à fibra óptica.

A implementação de sensores indutivos para controlar o fluxo de viaturas provou ser mais robusta do que os sensores de pressão utilizados na década de sessenta. Com as tecnologias imergentes nessa data foi possível avançar em direcção ao futuro.

Em 1974 surgiu uma nova abordagem com o objectivo de optimizar o controlo de tráfego em condições de saturação. Esta abordagem feita pela empresa ***Singh and Tamura*** não interferia na gestão das filas mas partia do pressuposto do conhecimento correcto dos incrementos de tráfego. Este pressuposto causa a limitação a este estudo.

O estudo iniciado em 1964 por ***Gazis*** foi retomado em 1976 por ***D' ans and Gazis*** o estudo previamente iniciado foi então estendido para vários sinais e em vários ciclos foram usados tempos previamente estabelecidos minimizando o tempo perdido pelos veículos nas filas durante o período de estudo, concluindo que os problemas de congestionamento necessitam de obter rotas optimizadas e obter o correcto sincronismo da comutação dos semáforos ao longo do trajecto.

A primeira tentativa de padronização dos semáforos foi elaborada em 1976, nos Estados Unidos. Esta estabelece padrões de funcionamento para os controladores semafóricos, lá instalados, bem como os algoritmos de controlo implementados. Até essa data não existia uma normalização. Nesta data surgiu o primeiro controlador fabricado pela *NEMA* (*National Electric Manufactures Association*) o modelo TS1. Este modelo já tinha definido a separação perfeita entre *hardware* e *software* e interfaces bem definida.[4]
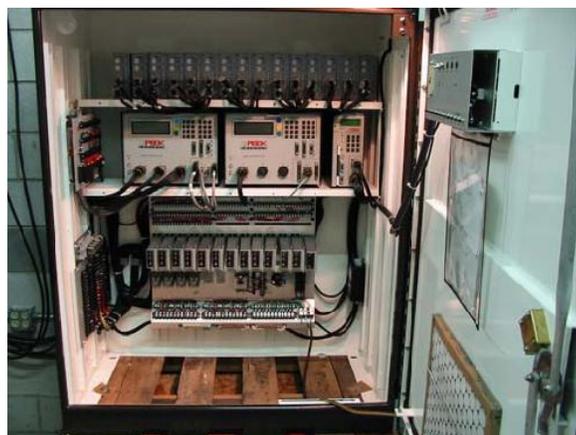
Figura 3 – Armário de comando

Em 1977 **Michalopoulos** e **Stephanopoulos** usaram as teorias do controlo para minimizar os atrasos num ou dois cruzamentos congestionados. O estudo realizado contemplava as filas, o tempo do trajecto entre os dois cruzamentos consecutivos.

Cerca de três anos mais tarde em 1980 ficou estabilizada a norma definida pelo consórcio composto por vários fabricantes da indústria electrónica *NEMA*.

Ainda no início da década de oitenta surgiu o conceito de programação dinâmica, ou seja as variáveis representativas do atraso passavam a ter valores que são alterados dinamicamente

em função do congestionamento existente. Com base em testes efectuados nos Estados Unidos, verificou-se uma redução do atraso na ordem dos 50 % em comparação com a estratégia de valores fixos adoptada até aquela data. No decorrer da década de oitenta surgiu um novo padrão para os controlos de semáforos conhecido então como *Model* 170, baseado na arquitectura dos processadores desenvolvidos pela **Motorola**, que permitiam a portabilidade do software instalado, e com interfaces físicas padronizadas para permitir a interoperabilidade com outros sistemas, respeitando especificações próprias para um micro controlador genérico aplicável ao controlo de semáforos. Esta nova arquitectura permitia que o software fosse vendido em separado do hardware, para isso bastava que fosse desenvolvido de acordo com micro controlador Motorola 6800.

No fim da década de oitenta surge o conceito de *Advanced Transportation Controller* (ATC). O conceito foi desenvolvido pela *California Department of Transport* (CALTRANS) em 1989 onde foram referenciadas algumas debilidades do controlo *Model* 170. Os novos controlos não se devem basear numa tecnologia estática mas sim nos padrões existentes nos computadores de uso corrente, permitindo deste modo a rápida actualização dos sistemas existentes de controlo de tráfego. Esta postura veio revolucionar as tecnologias até então usadas no controlo dos semáforos, o que despertou o interesse de diversas agências ligadas a este tema. Na sequência dos estudos efectuados surge o *Model* 2070.

Figura 4 – Armário de comando 2070

Devido ao interesse crescente, nos desenvolvimentos de soluções de controlo de tráfego que fossem dinâmicas e permitissem a constante adaptação dos algoritmos implementados em tempo real, surge na década de noventa a necessidade de enveredar pela padronização dos protocolos de comunicação, e da plataforma computacional. Nesse sentido surgem então dois standards distintos, *National Transport Communication for ITS Protocol* (NTCIP) e ATC. O

objectivo do NTCIP era definir os protocolos de comunicação entre os diferentes controlos de tráfego instalados, ao passo que o âmbito do ATC era estabelecer a plataforma computacional para os controladores de tráfego. [5]

No final da década de noventa, fruto do desenvolvimento efectuado entre diversos organismos tais como *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO), NTCIP e *Institute of Transportation Engineers* (ITE), foi estabelecido o paralelismo entre as camadas do modelo OSI e o modelo anteriormente definido como padrão DATEX-ASN de modo a garantir a interoperabilidade entre os subsistemas locais e a central de controlo de tráfego.[6]

OSI Layers	This Standard
Application	**DATEX-ASN**
Presentation	PER (ISO)
Session	NULL
Transport	*Not*
Network	*Defined*
Data Link	***In this***
Physical	***Standard***

Figura 5 – Tabela equivalências de modelos

A par da evolução registada surgem procedimentos que visam o controlo dinâmico de tráfego nas artérias supre saturadas. Este método tem como produto final o ajuste dos tempos de ciclo em tempo real, com base na informação sobre as filas existente e o seu escoamento. Surge então o conceito de algoritmo de gestão de tráfego que insidia na alteração dos tempos de verde. Este procedimento era bastante eficiente em artérias de sentido único. Os resultados obtidos na simulação nas artérias com dois sentidos foi semelhante, no entanto apresentam algumas limitações em relação ao cenário anterior.

Conceptualmente os sistemas foram evoluindo tendo com base o conhecimento empírico dos casos de estudo e a sua adaptação ao cenário que se pretende controlar, a par dos algoritmos definidos. Eis alguns conceitos base que passo a apresentar:

- Gestão do sistema de transportes
- Gestão do volume de viagens

- Moderação do tráfego
- Gestão do congestionamento
- Gestão da mobilidade

A gestão do sistema de transporte tem como principal objectivo a redução dos congestionamentos do tráfego, e assenta em medidas operacionais que visam limitar o acesso a determinadas faixas de circulação, ou zonas criticas em determinados períodos de tempo, tipicamente durante a chamada hora de ponta, definição de corredores prioritários para transportes públicos. Um exemplo prático é a proibição de circulação de veículos de mercadorias a determinada hora no centro da cidade. Existem outro tipo de acções que passam pela alteração de itinerários dos transportes públicos a cobrança de taxas de acesso a determinadas zonas e ajuste dos algoritmos de controlo semafórico para um determinado período de tempo com base nos padrões de tráfego existentes numa determinada zona da cidade durante a hora de ponta.[7]

Por seu lado a gestão do volume de viagens pode ser subdividida em medidas de curto e longo prazo, as primeiras passam pelo incentivo ao uso dos transportes colectivos em vez dos transportes próprios, a melhoria do tipo de serviço disponibilizado por este tipo de transporte, a melhoria das condições de circulação dos peões, a criação de ciclo vias, a gestão dos parqueamentos e sempre que possível adoptar estratégias que permitam reduzir o número de viagens. A longo prazo pode-se tentar limitar o tipo de actividade económica existente em determinada zona com base na densidade de ocupação e nos serviços colectivos de transporte disponíveis na zona.

A moderação do tráfego é uma estratégia de gestão que procura minimizar o impacto das vias locais pelo tráfego de passagem e passa pela aplicação de medidas de regulamentação com base na engenharia de tráfego. Estas tendem a controlar a velocidade, desviar o tráfego de certas vias e induzir os motoristas a uma condução segura e moderada, eliminar os pontos críticos da sinistralidade, minimizar os níveis de poluição e devolver espaço urbano aos peões. A moderação de tráfego assenta nas seguintes acções:

- Redução da velocidade através a inserção de lombas, rotundas semáforos de controlo de velocidade ou alterações do traçado da via.

- Redução do volume de tráfego limitando o acesso a determinadas zonas através de barreiras conforme se processa no acesso aos chamados bairros históricos da cidade de Lisboa.
- Restrição do estacionamento com a definição de zonas só para moradores e a instalação de parquímetros.

A gestão do congestionamento passa por promover o uso do transporte colectivo em detrimento do particular e o controlo da oferta de meios promovendo o aumento da capacidade dos meios existentes com a ajuda dos sistemas inteligentes de transporte.[7]

A gestão da mobilidade passa por melhorar a informação fornecida aos passageiros e aos operadores de logística e transporte, influenciar a escolha de meios de transporte sustentáveis de modo a diminuir o número de viagens por veículo automóvel. A gestão da mobilidade baseia-se em serviços de informação, marketing, comunicação, coordenação e organização, diferenciando-se das restantes por apresentar um carácter menos mandatário apresentando-se como uma opção voluntária.

O tráfego por sua vez pode ser denominado da seguinte forma:

- Tráfego local
- Tráfego de passagem
- Tráfego das artérias principais

O tráfego local como o nome indica centraliza-se numa determinada área de um modo geral este é gerado pelo pequeno comercio e moradores de uma determinada zona. No entanto pode corresponder ao fluxo de pessoas e mercadorias entre zonas distintas.

O tráfego de passagem diz respeito à ligação do tráfego local com as artérias de saída ou entrada dos grandes centros urbanos. Por último as artérias servem de canal de entrada ou saída de um centro urbano.

As vias de comunicação terrestre destinam-se à circulação de veículos e peões estando sujeitas a diversos cenários de tráfego possíveis.

- Saturação por fluxo de automóveis - este cenário ocorre quando se atinge o número máximo de viaturas que podem passar por aquela secção da via por unidade de tempo e está condicionada pelas características físicas de via tais como visibilidade, largura da via, topografia, estado do pavimento, etc.
- Fluxo intenso de peões
- Controlo de níveis de poluição
- Preservação da zona residencial
- Preservação de zona históricas

As vias encontram tipificadas de acordo com o perfil de tráfego e fluxo que podem comportar, podem ser de sentido duplo ou único, podem ser vias de, e com faixas reversíveis. As vias podem ser concebidas de modo a manter o fluxo sem interrupções abruptas nos seus cruzamentos são desnivelados, o mais usual são as vias com cruzamentos ou entroncamentos a nível.

2.2 Algoritmos de controlo tráfego

Na sequência da evolução do estudo referente ao comportamento do tráfego de peões e veículos, surge a necessidade de implementar mecanismos de controlo com base nos padrões de tráfego verificados. Estes nunca se mantêm constantes, variam ao longo do dia tendo como principais variáveis a hora e o sentido do fluxo de viaturas. O sentido do fluxo dos veículos é mais intenso no sentido da entrada dos grandes centros urbanos às primeiras horas da manhã e tem o sentido oposto ao fim do dia.

De modo a contemplar as diferentes variáveis que se encontram em jogo, foi necessário implementar algoritmos de gestão de tráfego. Os primeiros a serem implementados eram genéricos e apenas tentavam optimizar o tempo de ciclo. Foram testados em artérias com quatro intersecções e foram analisadas três variáveis distintas para tentar perceber a sua influência no controlo de tráfego, minimização do atraso, minimização do atraso com penalização, máximo débito. Após comparação dos resultados obtidos verificou-se que a minimização era a mais eficiente.

Na sequência dos estudos efectuados foram feitas várias abordagens no capítulo dos algoritmos de controlo. Em 2006 foram efectuados estudos recorrendo à programação em dois níveis que recaíram sobre um cenário de tráfego saturado com variações dinâmicas. O processo consistia no uso dos algoritmos até à data conhecidos e em paralelo a informação obtida das células em tempo real como factor de ponderação do sistema.

Em resumo, ao longo da história foram desenvolvidas diversas estratégias para o controlo de tráfego que se dividem nos seguintes grupos:

- Algoritmos genéricos (AG)
- Programação dinâmica (PD)
- Programação dinâmica adaptada (PDA)
- Preempção dos semáforos
- Preempção de tráfego com base em mensagens CAM
- Algoritmos evolutivos
- Fuzzi

Os algoritmos genéricos têm como base as leis da física e o tempo de ciclo, de modo a conseguir o correcto sincronismo dos semáforos ao longo de uma artéria. Após o estabelecimento dos valores, estes não sofrem mutações, são estáticos ao longo do tempo.

Na programação dinâmica é efectuado o estudo para os tempos de ciclo de modo a garantir o sincronismo. Tendo em linha de conta com a variável que representa o número de viaturas, esta vai influenciar o tempo de ciclo.

A PDA para além da contagem de carros, efectua algumas correcções com base nos valores estimados para as horas de maior tráfego, tendo em linha de conta se estamos perante um dia de semana ou fim-de-semana, efectuando uma estimativa do tráfego para o par dia-hora e parametrizando o algoritmo em avanço, tendo maior ênfase como acção preventiva em vez da correctiva.

Preempção dos semáforos é um procedimento que visa alterar a temporização dos semáforos para descongestionar o tráfego na via onde circula um veículo de emergência auxiliando-o durante o seu trajecto. Este sistema pode também ser usado nas intersecções com as vias-

férreas. As alterações ao normal funcionamento do semáforo podem ser efectuadas de modo abrupto, ou tendo como base algoritmos para minimizar o impacto no normal fluir do tráfego. Em ambos os casos é necessária a sinalização prévia por parte de um veículo.

Preempção de tráfego com base em mensagens **CAM** (***Cooperative Awareness Messages***) que se encontram padronizadas pelo ***European*** IST de modo a minimizar os erros da preempção de semáforos. Estas mensagens podem ser transmitidas entre os veículos e unidades fixas na estrada. As RSU (*road-side-units*) ou veículo a veículo (V2V), através da tecnologia *wireless* com base nas normas usadas pelas redes sem fios, ou através da tecnologia emergente das DSRC (*Dedicated Short Range Communications*) conforme a norma 802.11p. Por vezes usam as coordenadas fornecidas pelo GPS para melhorar a gestão da rota a ser percorrida pelo veículo de emergência. De modo a minimizar o impacto da preempção no tempo, as coordenadas espaciais dos veículos obtidas do sistema **GPS** são transmitidas encapsuladas nas mensagens **CAM** via 802.11p, com a periodicidade de duas mensagens por segundo. As mensagens **CAM** contêm a seguinte informação:[8]

- Longitude (long(t), [degrees]2): estimada do centro geométrico do veículo.
- Latitude (lat(t), [degrees]): estimada do centro geométrico do veículo.
- Altitude (alt(t), [m]): estimada do veículo.
- Velocidade (vmod(t), [m/s]): vector velocidade estimado do veículo.
- Trajectória (Hv(t), [degrees]): valor estimado em relação ao Norte geográfico.
- Informação sobre o veículo e sua identificação
- Activação e desactivação do processo de preempção

De igual modo são necessárias informações sobre os semáforos que vão ser envolvidos no processo de preempção tais como:

- Ângulo entre via em que circula a viatura e o semáforo relativamente ao Norte.
- Linha de vista máxima do veículo que se aproxima do semáforo em modo de preempção.

- Linha de vista máxima do veículo que se afasta do semáforo em modo de preempção
- Largura total de todas as vias controladas por semáforos com o mesmo sentido de orientação de tráfego.
- Tempo de activação do modo de preempção, ou seja o tempo mínimo de modo a que a comutação não ponha em risco os restantes veículos.
- Coordenadas cartesianas do vector posição do semáforo.

Dado que os semáforos se encontram fixos ao pavimento, tanto o primeiro como o último parâmetro são imutáveis no tempo.

Os algoritmos evolutivos fazem uso da inteligência artificial combinando mais do que um ramo desta área, um dos ramos usualmente utilizado baseia-se na teoria da evolução das espécies de **Darwin**. Por outro lado temos a modelação dos problemas tendo como base o comportamento animal em comunidade, um dos animais usualmente escolhido é a formiga, esta modelação constitui outro dos ramos da inteligência artificial.

Em geral, as estratégias de controlo de tráfego podem ser divididas em dois tipos, os de tempo fixo, com base num determinado momento do dia específico, determina a duração ideal do verde e o tempo de ciclo ideal, com o objectivo de minimizar o tempo total gasto por áreas de veículo. A desvantagem de estratégia de tempo fixo é óbvia, não é uma resposta auto ajustável do sistema em tempo real. Para a ultrapassar foi proposta a implementação de sensores que disponibilizam medições em tempo real, tais como ***loops*** indutivos ou câmaras digitais de reconhecimento de padrões tráfego permitindo a alteração dos parâmetros do semáforo de modo a reduzir o congestionamento.

Nas últimas duas décadas, vários sistemas de controlo de tráfego baseados nesta estratégia têm sido implementados. Estes sistemas inteligentes são classificados como sistemas especialistas, com optimização baseada na previsão, lógica *Fuzzy*, algoritmos evolutivos, ou auto aprendizagem.

Nos últimos anos, foram efectuadas pesquisas para o controlo concentrado de semáforos, com a aplicação de agentes inteligentes e lógica *Fuzzy*. As tentativas de usar a lógica difusa

devem-se à sua capacidade de imitar a inteligência humana no controlo semafórico. Bem como a simplicidade desta abordagem em relação aos modelos matemáticos, faz da lógica *Fuzzy* uma abordagem desejada no desenvolvimento do controlador. Por outro lado os agentes inteligentes e os sistemas de multiagentes foram bem-sucedidos na resolução de problemas não estruturados, para os quais não são conhecidos modelos adequados para o seu estudo. E resolução de problemas de elevado nível de abstracção e manipulação de decisões distintas.

O que é comum a todos os algoritmos é que a sua base de estudo passar pela observação cuidada dos fenómenos inerentes ao tráfego, bem como testes em ambiente real para validar a solução a ser preconizada.[9]

2.3 Controladores locais

Os controladores locais dos semáforos disponibilizam os seguintes recursos de modo a que seja permitida a sua interacção com os demais, dado que num cruzamento um semáforo tem que garantir determinado tipo de recursos.

- Sincronismo com outros semáforos
- Capacidade de executar programas de tráfego
- Disponibilizar estratégias de controlo

2.4 Dispositivo informativo

A par de todas as evoluções verificadas nos sistemas de controlo de tráfego, os dispositivos de sinalização foram submetidos a diversas alterações desde a sua criação. Os primeiros eram feitos com lâmpadas a gás onde existia um sistema mecânico que rodava dando origem às diferentes cores. Depois, surgiram as lâmpadas de filamento incandescente, seguida pelas de halogéneo até que actualmente podemos encontrar uma forte predominância da tecnologia led. Esta tecnologia é energeticamente mais eficiente com um consumo cerca de cinco vezes inferior, durabilidade superior e melhor distinção na comutação das cores e redução dos efeitos de encandeamento provocados pela incidência directa dos raios solares sofre as ópticas dos semáforos.

Inovações recentes no domínio da energia renovável deram aos semáforos alguma independência da rede eléctrica.Com a implementação adicional de geradores eólicos para o fornecimento de energia e ou de painéis de células solares de micro geração, foi permitida a instalação de semáforos em zonas não electrificadas ou como sistema redundante ao fornecimento da rede pública.

Figura 6 – Exemplo de aplicação com energias renováveis

2.4.1 Semáforos isolados

Quando um semáforo é isolado, não há necessidade de manter sincronismo com os demais. Assim, não é obrigatória a manutenção de um ciclo constante, e os tempos de verde de cada fase podem variar de acordo com a procura de veículos.

2.4.2 Semáforos totalmente actuados nas aproximações

Quando existe um volume razoável em todas as aproximações, a melhor solução passa por minimizar os atrasos e as paragens no cruzamento e consiste em escoar a fila de uma aproximação, e de seguida dar verde para outra aproximação, até acabar a fila. Os estágios vão mudando sucessivamente, sempre que acabar a fila de uma aproximação. O controlador identifica o fim da fila por meio de um detector.

O detector é um mecanismo que se encontra colocado na proximidade entre 10 a 50 metros antes do cruzamento e é activado cada vez que passa um veículo. Quando decorrer um intervalo de tempo superior a um valor predeterminado, sem que o detector acuse a passagem de qualquer veículo, admite-se o fim da fila, processa-se a mudança para a sequência seguinte.

2.4.3 Semáforos prioritário

Quando o volume de tráfego é elevado numa avenida e pequeno numa transversal, invés de se colocar o detector nas duas aproximações, ele é instalado somente na via secundária, dado que na avenida a probabilidade de existirem veículos a passar é muito maior e deste modo garante-se uma primazia no acesso ao cruzamento por parte da avenida. Nesta configuração, o semáforo fica sempre indicando verde para a via principal, até que um ou mais veículos sejam detectados na via secundária. Este tipo de equipamento é recomendado quando os volumes da via secundária são muito baixos 50 a 100 veículos por hora (Vph), e quando por razões de largura e/ou volume de tráfego não há condições de se cruzar a via principal com segurança sem o auxílio de um semáforo.

2.4.4 Sistema actuado para uma rede de semáforos

Quando um grupo de semáforos está sincronizado, a actuação torna-se mais complexa e é necessário manter-se o sincronismo para não prejudicar o rendimento do sistema.
Nestas circunstâncias, não existe uma regra simples para se variar o tempo de verde para cada aproximação, como para o caso do semáforo isolado.
O procedimento adoptado consiste em medir o fluxo de tráfego, isto é, contar o número de veículos durante um certo intervalo de tempo, em algumas aproximações das intersecções mais significativas da área de controlo. A partir deste fluxo pode-se escolher um de entre uma série de planos disponíveis no controlador.

Este método é essencialmente análogo ao do tempo fixo, com excepção de que o plano não tem um instante predeterminado de actuação. Assim, se no exemplo anterior o volume das 7h às 8h for de 700 vph em vez de 1.000 vph previstos, activa-se automaticamente o plano 2 em substituição ao plano 1, substituição que seria escolhida caso o sistema operasse em tempo fixo.

Apesar das recentes evoluções dos semáforos quer no seu decréscimo de consumo energético quer no recurso a energias renováveis que reduzem significativamente os custos de

exploração, a instalação de semáforos, e a sua manutenção continua a ser dispendioso, o que leva à definição de critérios de implementação como objectivo de justificar a sua utilização conforme os critérios definidos por **Denatran** em 1979[7].Os critérios apresentados fazem parte de um conjunto de boas práticas a terem em conta antes de atribuir uma localização.

- **Volume mínimo de veículos**, este critério justifica a implementação de semáforos quando o número mínimo de veículos a circular é tal que dificilmente pode ser gerido sem ser por um sistema semafórico. O valore padrão considerados para uma via com dois sentidos para um fluxo de 500 viaturas por hora na via preferencial e 150 na via secundária, em que os valores de fluxo devem corresponder ao valor médio obtido num período de oito horas, no intervalo horário compreendido entre as 07:00 e as 20:00 horas.

- **Interrupção de tráfego contínuo** aplica-se quando a via secundária apresenta uma dificuldade extrema de entrar ou cruzar a via principal, apesar da secundária ter um fluxo reduzido. São tidos como valores mínimos 750 na principal e 75 na via secundária.

- **Volume de conflitos** em intersecções de cinco ou mais aproximações quando o somatório das aproximações ultrapassar o mínimo de 800 veículos por hora, desde que não seja possível alterar o traçado de modo a reduzir os pontos de conflito.

- **Volume mínimo de peões** sempre que ocorre o número mínimo de conflitos entre peões e veículos com base nos seguintes valores 250 peões por hora em ambos os sentidos de travessia, 600 veículos por hora em ambos os sentidos sem placa central ou que a mesma tenha largura inferior a 1 metro. Caso o fluxo de veículos atinjam os 1000 por hora.

- **Índice de acidentes** quando os acidentes verificados são do tipo que se podem precaver com a utilização de semáforos, não se consegue reduzir o número de acidentes com o recurso a outros dispositivos.

- **Melhoria progressiva do sistema** caso exista um sistema de coordenação semafórica num cruzamento adjacente, a ausência de semáforo pode prejudicar o desempenho global do sistema.

- **Controlo de áreas congestionadas** em zonas onde se esgotaram todas a possibilidades de aumento da fluidez.

- **Combinação de critérios** em zonas onde é necessário implementar mecanismos de preempção, saídas de quartéis de bombeiros, esquadras da polícia, etc.

- **Situação local especifica** devido ao volume de tráfego ou excesso de velocidade verificada.

A par da evolução dos semáforos foram desenvolvidos alguns módulos adicionais que permite estabelecer a comunicação entre veículos prioritários e os semáforos, para que deste modo se consiga implementar a preempção nos semáforos.

- **Sistema de linha de vista**, o mais usual é o sistema de sinais via infravermelho. O veículo de emergência emite pulsos de infravermelho que são recepcionados pelo semáforo que por sua vez envia o sinal de preempção para o controlo. Este, activa o sistema de preempção assim que o veículo passa o semáforo retorna ao modo usual de funcionamento.

- **Sistema sonoro, a**través do som emitido pela sirene de emergência do veículo, o semáforo que se encontra equipado com microfone direccional, detecta a presença de um veículo de emergência. De seguida envia um pedido de preempção ao controlador, que reage e se configura em conformidade.

- **Módulo gps**, é uma mais-valia, uma vez instalado nos veículos de emergência fornece ao centro de controlo a direcção, velocidade e posição do veículo de emergência. Com base nestes dados é determinado qual e em que instante temporal um determinado semáforo vai ser actuado. Note que o **gps** não se encontra instalado no semáforo, mas no entanto as informações por este disponibilizado são o factor decisor.

- **Módulos de rádio de curto alcance**, são uma solução que corrige as falhas de comunicação por ausência de linha de vista, dado que o sinal de rádio apresenta maior imunidade aos obstáculos e condicionantes atmosféricas. Estes sistemas fazem uso de antenas direccionais. O pulso de rádio frequência é detectado e determinado o trajecto de viagem, a solicitação de preempção é enviada para o centro de controlo, que responde em consonância com o pedido.

- **A tecnologia RFID,** é aplicada à área de junção com várias pistas e múltiplas vias. As etiquetas **RFID** podem ser colocadas em veículos de emergência e os leitores de etiquetas são instalados antes da intersecção. Questões de visibilidade não são significativas. [10]

- **Sistemas baseados em DSRC**, são a abordagem rádio com base nas comunicações de V2V e V2I com o recurso à norma 802.11p encontra em fase de estudo pretendem estabelecer a criação de uma rede onde as mensagens CAM são replicadas expandindo o seu alcance.

- **Sistemas de sensores,** a instalação de sensores no pavimento e no mobiliário urbano circundante ao semáforo pode ser uma das soluções para os pedidos de preempção, no entanto esta solução obriga à instalação dos dispositivos capazes de actuar os sensores em todas as viaturas de emergência.

No decorrer da evolução tecnológica surge uma enorme variedade de painéis informativos que permitem informar os condutores sobre o estado do trânsito, a ocorrência de acidentes, trânsito cortado, piso escorregadio, …etc.

Figura 7 – Exemplo de painel informativo de perigo

De igual modo, aparecem painéis informativos da presença de radares de velocidade com o objectivo de alertar os condutores dos limites impostos na lei.

Figura 8 – Painel informativo do limite de velocidade

Os painéis seguintes indicam a velocidade praticada em tempo real, permitindo deste modo que sejam tomadas as devidas precauções para que não seja excedido o limite imposto naquela artéria. Funcionam como elemento dissuasor, desempenham um papel importante na prevenção rodoviária.
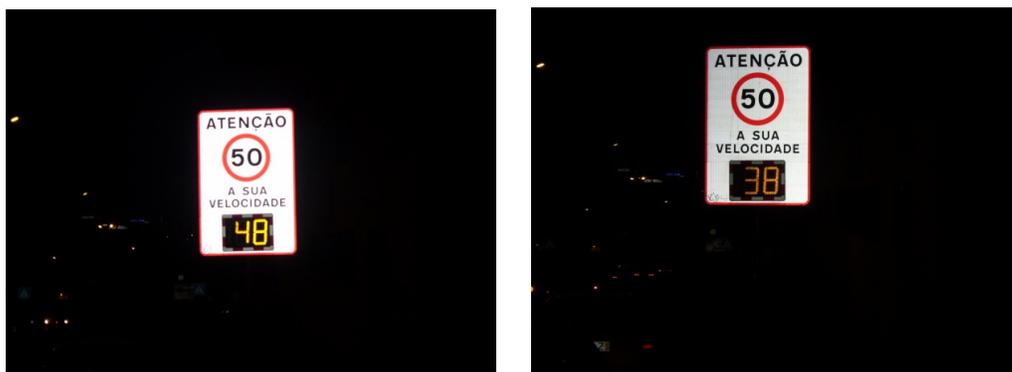
Figura 9 – Velocidade média praticada em dois instantes diferentes

Os painéis acima mencionados encontram-se em funcionamento na cidade de Lisboa, e tem o carácter dissuasor no que respeita ao limite de velocidade. No período em que foram retiradas estas amostras, verifiquei que nem sempre era cumprido o limite imposto.

Apesar não dispor dos meios para averiguar com a precisão necessária, penso que existe alguma falta de precisão nos valores indicados pelos painéis, embora não consiga quantificar correctamente o desvio observado. Os valores visualizados nos painéis informativos pecam por defeito.

Pela informação que me foi facultada, os painéis em causa são puramente informativos. Não existe equipamento de fiscalização e captura de imagem para constituir prova da ocorrência.

2.5 Comunicação entre estações e central de controlo

No contexto actual dos sistemas de controlo tráfego em que se pretende dar resposta rápida às mutações sofridas em tempo real surge da necessidade de que a comunicação entre as unidades de controlo local e a central seja efectuada com débitos mais elevados. Neste contexto surge a fibra óptica como meio de comunicação ideal.
As principais vantagens do uso da fibra em relação ao par de cobre são:

- Maior robustez ao ruído e às interferências electromagnéticas
- Distancias maiores entre repetidores devido à menor atenuação
- Alto débito binário e elevada capacidade de comunicação
- Segurança na informação transportada
- Comunicação multiplexada no domínio do comprimento de onda WDM

Ao recorrer ao uso de multiplexagem consegue-se estabelecer vários canais, de acordo com os comprimentos de onda utilizados, que são independentes entre si, podendo assim comunicar em cada canal com velocidades e formatos distintos.

No âmbito da segurança, a tecnologia garante-a, devido ao facto de ser virtualmente impossível detectar informação sem uma interferência directa na fibra, o que pode ser facilmente monitorizado quer pelo emissor quer pelo receptor.

Não obstante o custo inerente aos equipamentos ópticos, em alguns dos cenários rodoviários, pode-se tirar partido do facto da fibra óptica se encontrar difundida por muitos locais. Deste modo, poderá vir ser possível aproveitar canais que estejam disponíveis para o envio de informação relacionada com o tráfego, reduzindo assim os custos da implementação.

Existem estudos efectuados no estrangeiro com o objectivo de determinar a eficácia do uso do canal rádio como veículo de transporte da informação, nomeadamente o recurso às redes de sensores denominadas ***Wireless Network Sensor*** (**WSN**). Uma das possíveis soluções futuras passa pelo uso de **DSRC** para estabelecer a comunicação entre os veículos prioritários e os controladores locais de tráfego possibilitando uma gestão mais eficaz perante situações de emergência, permitindo deste modo o comando remoto dos semáforos de modo a desobstruir o trajecto até ao local do sinistro.

2.6 Sensores no controlo de tráfego

Os sensores de fluxo de tráfego são dispositivos que na presença ou na passagem dos veículos na sua zona de detecção têm como função detectar a sua presença bem como fornecer informações às aplicações de gestão de tráfego. Estes dispositivos encontram-se classificados segundo dois tipos os ***in-road*** e os ***over-road***. Os primeiros caracterizam-se por se encontrarem embutidos no asfalto, os ***over-road*** são instalados sobre o pavimento na berma, em postes adjacentes ou nas estruturas metálicas que suportam os semáforos ou placards informativos.

Os primeiros sensores a serem usados no controlo de tráfego eram puramente mecânicos eram usados com o objectivo de contar as viaturas à medida que iam passando pelo cruzamento. Posteriormente surgiram os sensores indutivos que são constituídos por circuito embutido no pavimento ficando parte dele à face com o pavimento. A viatura ao passar provoca distorção no campo magnético.

Figura 10 – Exemplo de espira magnética

Os ***loops*** indutivos convencionais são construídos cortando um entalhe no pavimento e colocando uma ou mais voltas de arame nesse entalhe. O arame será então coberto com material impermeabilizante. O tamanho, forma e configuração do ***loop*** variam, dependendo da aplicação específica. Devido à flexibilidade da sua geometria, o detector de ***loop*** indutivo é capaz de detectar uma vasta gama de veículos, com base na intensidade do campo magnético e a sua direcção nos diferentes tipos de ***loop***. Deste modo podemos considerar diferentes famílias de detectores, usados na detecção de eventos específicos.
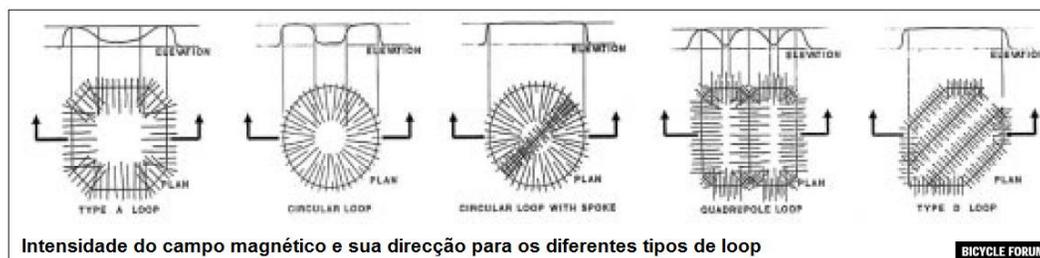
Figura 11 – Diferentes configurações de espiras magnéticas

- Saturação - fila de espera tem como função alertar se um determinado cruzamento está na eminência de ficar congestionado e a ocorrência e filas de espera.

- Contagem - permite a contagem do número de viaturas, este dado pode ser usado como variável na coordenação semafórica.

- Identificação de veículos - usada para determinar se está na presença de uma viatura do RSB ou de um transporte público.

Incluído na família dos sensores ***in-road*** podemos encontrar os sensores piezoeléctricos. No exemplo seguinte o modo de comunicação é por ***wireless*** o que faculta a sua instalação ao reduzir os custos com a cablagem.

Figura 12 – Exemplo de sensor *wireless*

Devido à evolução da optoelectrónica é possível inserir uma fibra numa estrutura embutida na via, a fibra ao ser pressionada pela presença de um veículo automóvel introduz uma deformação que provoca a redução do débito.

Esta redução é facilmente detectada pelo emissor e receptor que por sua vez traduzem em sinais eléctricos que são mapeados na presença de viatura. As vantagens em relação aos sensores tradicionais em ***loop*** são:

- Verticalidade na detecção maior precisão e tempo de resposta do sensor
- Maior robustez às intempéries
- Robustez electromagnética
- Imune à corrosão

Figura 13 – Exemplo de loop magnético

Os sensores de filas de trânsito, assentam na mesma base tecnológica que os sensores de fluxo de tráfego, variando por vezes a forma de detecção e o seu posicionamento na via. Alguns dos detectores usados são específicos para detectar um determinado tipo de veículos, por exemplo transportes públicos, onde estas viaturas têm instalado um dispositivo capaz de actua o sensor, fazendo assim a contagem.

Englobados na família dos sensores ***over-road*** podemos encontrar os dispositivos de tratamento de processamento de imagem, nomeadamente, um bom exemplo são as câmaras de vigilância, conforme exemplo abaixo.

Figura 14 – Câmara de vídeo vigilância

São exemplos desta tecnologia os processadores de imagem, que utilizam câmaras montadas em postes adjacentes ou nas estruturas dos semáforos, os radares microondas, sensores ultra-sónicos e infravermelhos montados de maneira análoga, ou sensores de radar laser instalados em estruturas que atravessam as vias a serem vigiadas. Esta tecnologia ainda se encontra em uso em todo o mundo.

Figura 15 – Sensor ultra-som e radar de Doppler

Na sequência do desenvolvimento efectuado na tecnologia laser surgem dois novos conceitos ***Laser Detection And Ranging (*****LADAR*****)*** e ***Light Detection And Ranging (*****LIDAR*****)***. O **LADAR** consegue efectuar medições com uma rapidez elevada e precisas, consegue efectuar um varrimento num plano com uma abrangência angular elevada no entanto encontra-se limitado num plano pré-definido e a sua performance é altamente comprometida em condições climatéricas adversas, como chuva ou nevoeiro. Tipicamente são usadas para identificação e tipificação de veículos, detecção da sua posição e controlo de velocidade. Estes sistemas são compostos por equipamentos de detecção e por câmaras de alta definição para documentar o incidente.

LIDAR é uma tecnologia no domínio da óptica que permite a detecção remota através da medição das propriedades da luz reflectida de modo a obter a distância. Existem três tipos diferentes de LIDAR para aplicações distintas, para detecção de objectos e medição de distâncias, para medição da velocidade por desvio de Doppler. O DIAL é uma extensão das dos mencionados anteriormente com capacidade para fornecer informação mais detalhada, usa dois lasers em frequências diferentes, um como referência e outro direccionado ao objecto pretendido. Esta tecnologia também pode ser usada no âmbito da geodesia, arqueologia, geografia, geologia, sismologia, engenharia florestal, oceanografia costeira, detecção remota e física da atmosfera.[11]
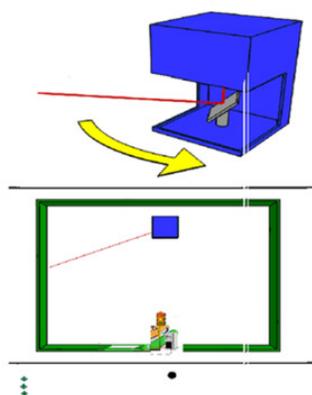
Figura 16 – Detecção via Laser

O método mais utilizado para determinar a distância a um objecto, é através da utilização de laser pulsado. A distância a um objecto é determinada medindo a diferença de tempo entre a emissão de um pulso laser e a detecção do sinal reflectido, de forma semelhante à tecnologia do radar, que utiliza ondas de rádio.

Figura 17 – Detecção via Laser

Actualmente podem encontrar sistemas no mercado, compostos pelo sistema de detecção **LIDAR** e câmaras de alta velocidade para comprovar o incidente. Os meios de detecção conseguem detectar mais do que um veículo em simultâneo. Podem-se definir limites de velocidade diferentes e serem associados a veículos de classes diferentes permitindo a diferenciação entre ligeiros e pesados.
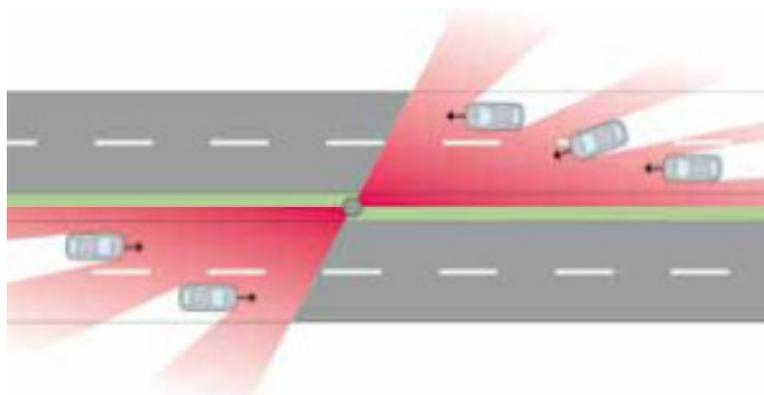
Figura 18 – Detecção de 3 vias em 2 sentidos

Os sistemas disponíveis são capazes de diferenciar os veículos que circulam nas diferentes faixas de uma avenida, identificando correctamente o veículo infractor. Estes sistemas por vezes usam como componente adicional o sistema **gps** para determinar a hora e local exacto da infracção e gerar um relatório de incidente, que do ponto de vista tecnológico é incontestável. É possível efectuar o controlo de velocidade e de violação do semáforo vermelho com esta tecnologia o que torna os sistemas versáteis.

Figura 19 – Sistema Lidar

O sistema acima mencionado é composto pelo Lidar que detecta a infracção e uma câmara digital de alta resolução para documentar o processo. No desenrolar do procedimento o sistema fornece uma fotografia em formato digital para ser mais facilmente integrada no processo de gestão documental. As câmaras da nova geração permitem a cobertura de duas faixas em simultâneo. O sistema de disparo é accionado por feixes de laser com base na tecnologia **LIDAR**, conseguem capturar a matrícula de veículos em movimento para velocidades até os 250km/h. Dispõem de *flash* de infravermelhos e possibilitam a ligação a uma rede Ethernet.

A utilização conjunta das câmaras portáteis com os sistemas fixos permite uma maior eficácia na cobertura dos eventos nos casos em que circulam motociclos em paralelo com outros veículos e nos casos em que se necessita de cobrir três vias de circulação.
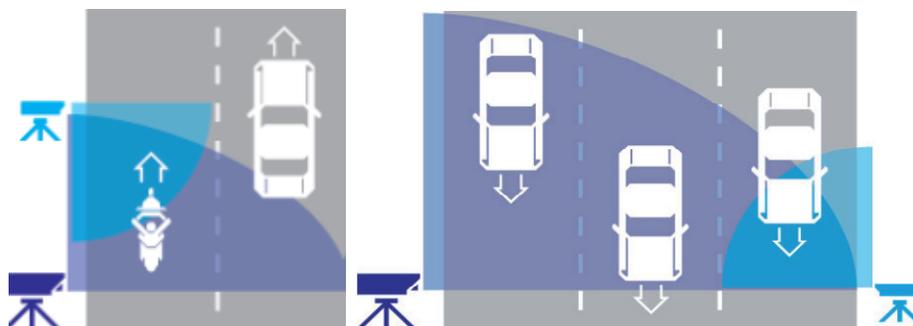
Figura 20 – Cobertura com recurso a duas câmaras

Na figura anterior está ilustrada a possibilidade do uso de uma câmara fixa a azul-escuro e uma câmara móvel.

Os sistemas baseados em **LIDAR** podem ser usados para detectar mais do que um evento em simultâneo, nomeadamente o desrespeito pelo vermelho e o controlo de velocidade conforme figura que se segue.
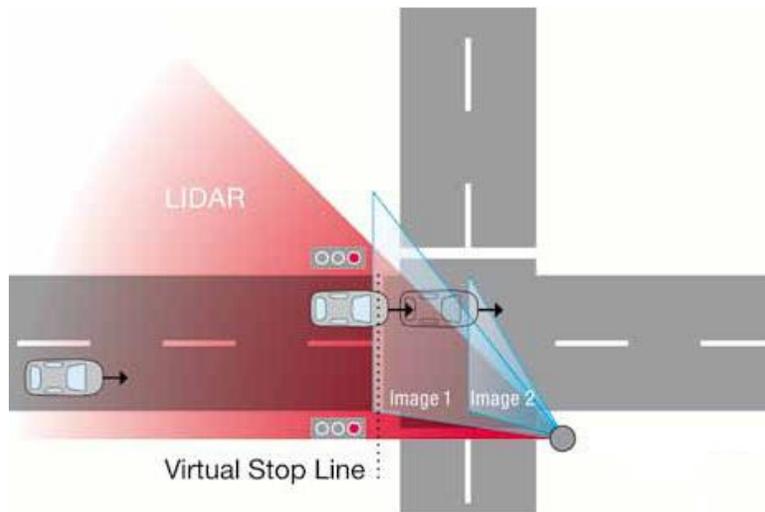
Figura 21 – Cobertura de um cruzamento com semáforo

O sistema considerado consegue efectuar as leituras sem necessitar de sensores adicionais, como por exemplo os sensores em **loop**. O sistema é actuado automaticamente com recurso à tecnologia **LIDAR**, monitorização de três faixas. A periodicidade do varrimento efectuado pelos **LIDAR** é superior a uma vez por segundo e o raio de acção do sistema encontra entre os quinze e os setenta cinco metros.

Os sensores podem ser agrupados de acordo com a sua largura de banda, tipo de dado recolhido e tipo de sensor conforme tabela que se segue.

Sensor	Tipo de Dados Recolhidos	Largura Banda
Manómetro	Contagem; Presença; Velocidade	Baixa
Bobina de indução magnética	Contagem; Presença; Velocidade	Baixa
Ultra-sons	Contagem; Presença	Baixa
***Array* acústico**	Contagem; Presença; Velocidade	Baixa a média
Infravermelhos passivo	Contagem; Presença; Velocidade	Baixa a média
Infravermelhos activo	Contagem; Presença; Velocidade; Classificação do tipo de viaturas	Baixa a média
***Loop* Indutivo**	Contagem; Presença; Velocidade; Classificação do tipo de viaturas	Baixa a média
Radar de microondas	Contagem; Presença; Velocidade; Classificação do tipo de viaturas	Média
LIDAR	Presença, Velocidade, Posição Classificação do tipo de viaturas	Baixa a alta
Processamento de imagem	Contagem; Presença; Velocidade; Classificação do tipo de viaturas	Baixa a alta

Tabela 1 – Classificação de sensores

De indicar que alguns dos sensores, mencionados na tabela anterior, necessitam de módulos de hardware e software adicional para que após a recolha, acondicionamento e processamento do sinal sejam exibidos, muitos casos o software permite a gestão e consulta dos dados que de outro modo e dado o volume dos mesmos seria impraticável.

Para o caso de estarmos perante semáforos isolados actuados nas diferentes vias em que o sistema está presente, torna-se mais fácil interagir com o sistema com base na informação obtida pelos diferentes sensores instalados na via. Quando o volume de tráfego é considerável, tendo como finalidade minimizar os atrasos e paragens no cruzamento, a solução mais eficaz consiste no escoamento alternado, de acordo com o fluxo e pedidos, das filas dos vários ramos.

Num sistema síncrono e actuado de rede semafórica, a actuação torna-se mais complexa visto ser necessário manter-se o sincronismo entre semáforos para não prejudicar o rendimento do sistema. O mais usual passa por medir o fluxo de tráfego, nos ramos que fazem parte das intercepções mais relevantes na área de controlo, e em função deste fluxo escolher o programa adequado, entre os disponíveis no controlador.

Em alguns pontos, de acordo com as características da zona, os detectores e os controladores poderão encontrar-se ligados a um computador, instalado num centro de controlo. Estamos perante um sistema centralizado de controlo por computador, solução que permite agilizar o processo de coordenação semafórica, permitindo o uso de estratégias de controlo virtualmente impossíveis sem auxílio de um controlo central. As facilidades que este sistema oferece, entre outras, são o controlo de falhas do sistema, monitorização dos alarmes de manutenção, a flexibilidade e facilidade de mudança de programas de tráfego, a facilidade de supervisão pelo operador do sistema, e a facilidade de implementação de estratégias mais complexas.

2.7 Gestão Documental das Infracções

Na era digital surgem novos mecanismos de gestão documental que proporcionam um processamento rápido dos dados obtidos. Um dos problemas levantados prende-se com a demora na identificação e posterior notificação dos infractores, o que leva á desresponsabilização dos mesmos porque o prazo limite disposto na lei foi excedido.

Os equipamentos de identificação das viaturas actuais permitem fotografar veículos que circulem a velocidades até cerca de 250 km por hora, disponibilizando as fotografias em formato digital. A este tipo de câmaras pode ser adicionado um *flash* que permita a disponibilidade contínua do serviço mesmo em caso de iluminação insuficiente. As câmaras já dispõem de sistema de ***timestamp*** onde consta a data e a hora da ocorrência. As fotografias tiradas com resolução de pelo menos 1280 X1024 pixéis, possibilitam a obtenção dos dados através de técnicas de reconhecimento de texto, nomeadamente o **OCR** (***optical character recognition***) o que permite criar um documento no formato XML (*Extensible Markup Language*) de modo rápido e eficaz.

Os ficheiros com este formato têm a vantagem do seu conteúdo ser facilmente lido e interpretado por *software*, permitindo deste modo obter a matrícula do veículo que cometeu a infracção. Caso seja juridicamente possível, podemos obter a informação referente ao proprietário através da inquisição da base de dados dos veículos registados em Portugal, usando com campo chave da nossa consulta a matricula obtida anteriormente.

Actualmente existem soluções no domínio do software que permitem efectuar automaticamente a análise dos dados recolhidos pelas câmaras de aquisição de dados, abaixo apresento o aspecto gráfico de uma janela desta aplicação. Por razões relacionadas com a privacidade de dados parte da informação foi rasurada.
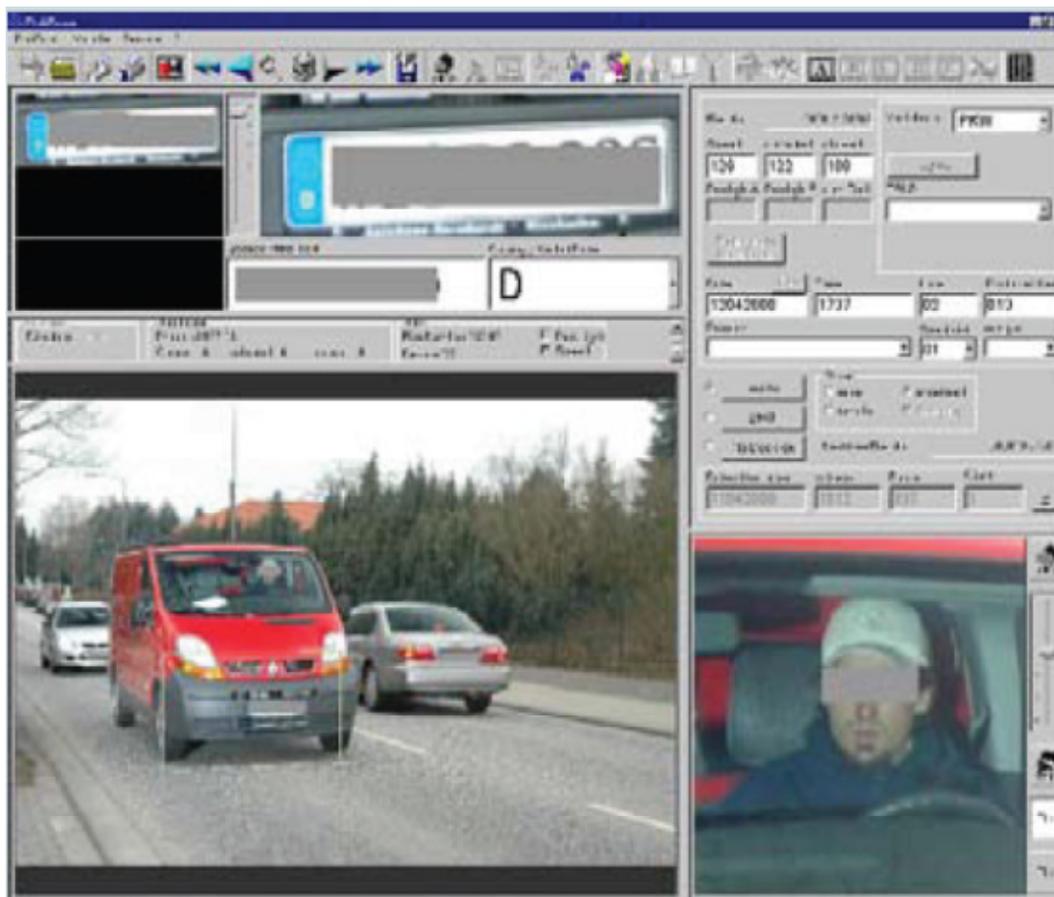
Figura 22 – Software de aquisição de dados

O *software* mencionado disponibiliza a possibilidade de obter informação proveniente de radares de detecção de velocidade ou sistemas de monitorização da violação do semáforo vermelho. Actualmente estes *softwares* encontram-se preparados para serem instalados em rede possibilitando o seu uso em mais do que um posto de trabalho em simultâneo. Recebem dados de mais do que um posto de monitorização permitem a análise e processamento estatístico dos mesmos. Caso exista conectividade com uma base de dados onde conste o registo dos veículos matriculados a identificação do condutor pode ser efectuada automaticamente.

2.8 Evolução Histórica dos semáforos em Lisboa

De acordo com a informação obtida os primeiros semáforos foram instalados em Lisboa na década de cinquenta, eram sistemas electromecânicos com tempos de ciclo fixos e autónomos entre si. Não existia comunicação entre dois semáforos consecutivos.

Cerca de vinte anos depois deram início a um projecto de modernização do sistema existente que teve como objectivo interligar os semáforos existentes centralizando controlado pelo sistema **Elliot**, também conhecido como projecto Fado. A gestão dos semáforos continuou a ser do tipo electromecânico com tempos de ciclo fixos. Foi instalada uma infra-estrutura de comunicações com base na tecnologia existente na altura, a rede foi instalada em par de cobre. Actualmente continua a ser usada esta estrutura em paralelo com alguns troços em fibra.

No início da década de oitenta surgem os sistemas controlados por semicondutores em 1983 entra em funcionamento a primeira fase do projecto **Gertrudes**, os semáforos passaram a ser comandados por este sistema os tempos de ciclo passaram a ser variados com a possibilidade de serem alterados conforme as necessidades de tráfego verificadas. A implementação do sistema ficou concluída em 1985.
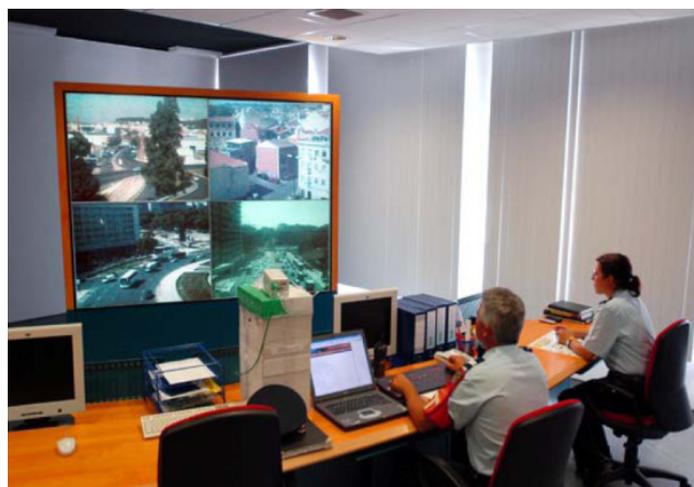
Figura 23 – Central de Supervisão de tráfego

O sistema tem como principais objectivos assegurar a fluidez do tráfego, através da gestão em tempo real permitindo a rápida reacção às alterações do tráfego e melhorar o desempenho dos transportes públicos através do controlo em separado de semáforos para estes veículos em artérias com corredores específicos.

No universo das intersecções existentes e controladas por semáforos, 256 destas intersecções são centralizadas, ou seja, monitorizadas por computadores instalados no Centro de Controlo Operacional. O sistema de controlo possibilita a manutenção de um relógio único comum a todos os controladores, garantindo o sincronismo entre os semáforos, a verificação das ocorrências de falhas nos controladores, a verificação da programação de um cruzamento, a monitorização de seu funcionamento e permite ainda a alteração dos tempos dos semáforos quando necessário, nomeadamente em caso de acidentes, obras, manifestações e assegurar a prioridade dos veículos prioritários, de modo a garantir um socorro rápido e eficiente.

O sistema **GERTUDE** foi parametrizado com base no conhecimento dos padrões de tráfego existente em Lisboa. É um sistema centralizado, em tempo real, modular e hierárquico. Actualmente, o sistema de controlo de tráfego **GERTRUDE** tem a topologia de implementação conforme figura abaixo.
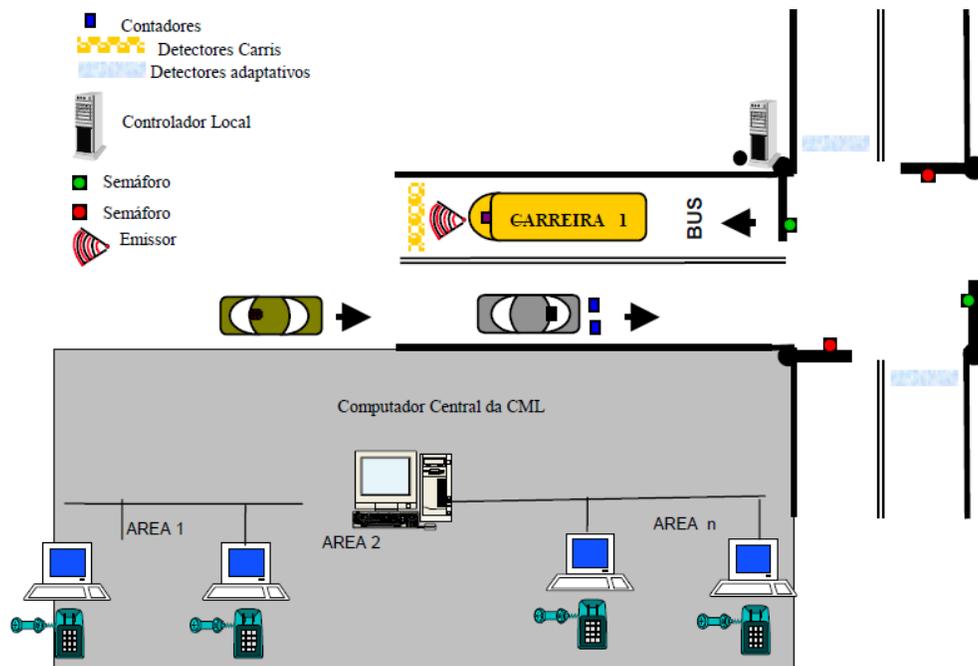
Figura 24 – Arquitectura Física do Sistema de controlo

O sistema GERTRUDE está adaptado às exigências da cidade de Lisboa. No entanto a sua parametrização tem vindo a ser sujeita a diversas reconfigurações, à medida que a cidade aumenta e os seus padrões de tráfego sofrem alterações decorrente dos diferentes factores sócio económicos, sendo por si só um caso de estudo com indicadores reais da mobilidade da cidade. O modo operacional do algoritmo base implementado passa por:

- Entrar no cruzamento o volume de tráfego que este pode aceitar.

- Logo que a solicitação se torna excedentária, o computador é informado em tempo real, actuando nos algoritmos de controlo do sistema.

- A rede viária é decomposta em pares de troços deficitários/excedentários para efeitos de aplicação das estratégias de controlo e balanceamento de carga.

O controlo de tráfego é algo que não é estático logo tem que existir por parte do sistema a capacidade de aplicar medidas correctivas para fazer face ao inesperado. Deste modo, a estratégia de controlo funciona a dois níveis:

- No primeiro nível encontra-se a selecção, em tempo real, do programa de tráfego mais conveniente, com base no registo dos fenómenos previsíveis. Neste nível o sistema determina o ciclo óptimo, para cada zona, tendo por base os coeficientes característicos dos arruamentos e o tempo de base do ciclo anterior e as informações em tempo real dos detectores de saturação e contagem existentes no terreno.

- No segundo nível, o programa pode ser adaptado às necessidades de cada evento, em função de parâmetros obtidos mediante os detectores de filas de espera, adaptabilidade, prioridade aos transportes públicos e veículos prioritários a preempção semafórica.

No sistema de controlo utilizado, cada ficheiro de cruzamento é composto por várias sequências estruturadas em função do diagrama de sinais instalado no controlador local. A leitura é sequencial. O estado em que se encontra o diagrama valida, em tempo real, a situação do ficheiro.

Volvidos alguns anos como desenrolar da feira mundial de Lisboa Expo 98 foram acrescentadas algumas funcionalidades extra ao sistema até então existente. Painéis de mensagens informativas, sensores de variáveis ambientais, pontos de acesso S.O.S via GSM e equipamentos de vídeo vigilância.
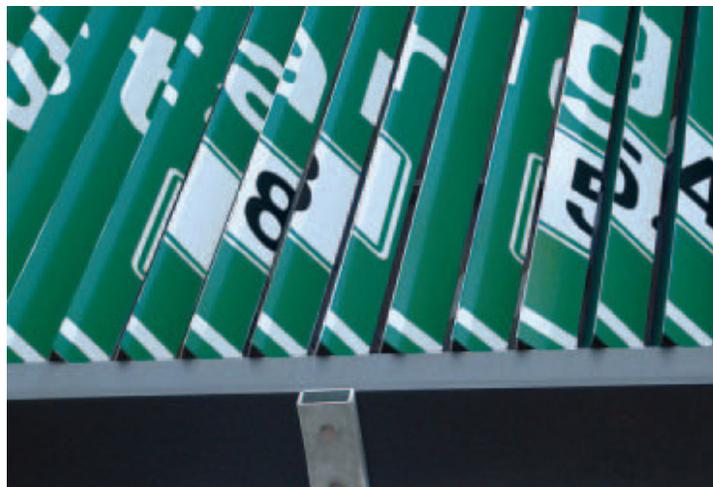
Figura 25 – Painéis de mensagens variadas

Devido ao facto de Lisboa ter recebido a Expo 98 e se tratar de um evento internacional, este veio trazer um acréscimo de tráfego de pessoas e bens, muitos deles provenientes do estrangeiro, veio alargar a rede de tráfego existente expandido para zonas até então consideradas de menor importância revitalizando uma zona considerada por muitos como morta. Foi nesse contexto que surgiram as câmaras de vigilância com o objectivo de incrementar a segurança rodoviária.

Figura 26 – Câmaras de controlo tráfego

A par das alterações efectuadas e visíveis para o comum dos cidadãos, foi necessário dotar as estações remotas existentes (AEN/CTN199 SC01) da capacidade de interagir com os novos dispositivos, tendo estas como função:

- Recolha de informação sobre o tráfego
- Controlo local e interface com os restantes dispositivos
- Encaminhamento das ordens de sinalização
- Envio de informação para os painéis
- Fornecimento de dados para os centros de controlo

No ano de 2006 começou a primeira fase de instalação dos radares de velocidade na cidade de Lisboa tendo ficado o projecto concluído em 2007 com sistemas de leitura da matrícula, que tem como objectivo verificação dos infractores.
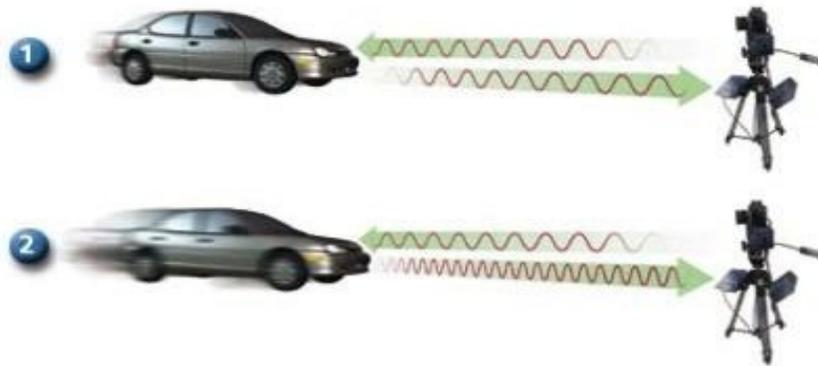
Figura 27 – Radar de Dopller

Numa perspectiva de desenvolvimento continuado foram instalados em 2011 os primeiros troços de fibra para transporte de dados entre as estações remotas e as centrais de controlo. O projecto em causa continua em fase de expansão. Gradualmente pretende-se substituir a rede de cobre existente por fibra.

3 CAPITULO III

Análise dos casos de estudo

3.1 Metodologias adoptadas

Tendo em conta que o tema central da dissertação proposta, esta gira em torno da gestão de tráfego e o principal método de estudo assenta sobre a observação dos casos de estudo que se encontram espalhados pela cidade de Lisboa. Existem zonas onde ao longo dos anos têm sido feitas algumas alterações ao tipo de sinalização existente. Um dos casos de estudo a ser abordado passa pela análise do semáforo instalado na Av. 24 de Julho situado entre o Cais da Rocha Conde de Óbidos e a zona de Santos. Um dos motivos para a escolha deste ponto, prende-se com a falta de eficiência da solução ali colocada. Em alguns dos pontos abordados as soluções técnicas implementadas foram desactivadas por questões de privacidade ou não se encontram operacionais causas que não me compete abordar.
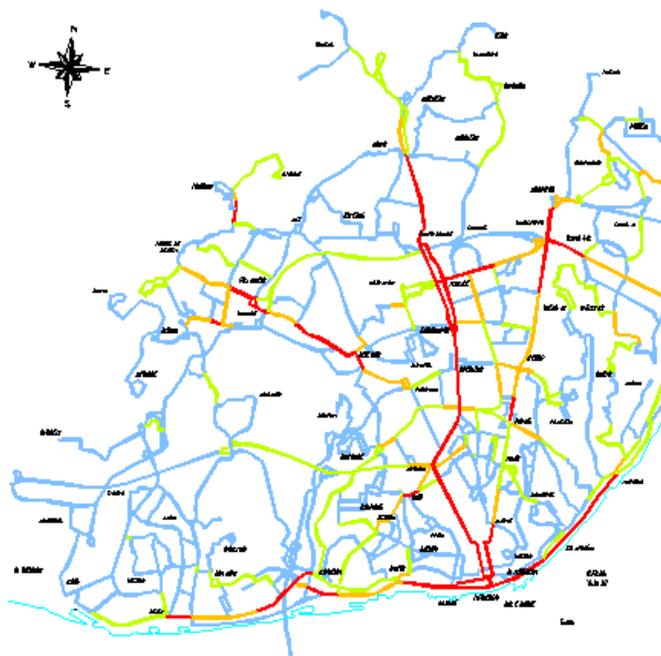
Figura 28 – Traçado rodoviário de Lisboa

Pretende-se estudar a possibilidade de alterar os algoritmos de controlo de tráfego de modo a reduzir os congestionamentos de tráfego, reduzir os tempos de ciclo permitindo uma maior fluidez no tráfego.

Existem alguns pontos que vão ser referenciados com casos de estudo para a elaboração da tese, sendo que um deles é o semáforo de controlo de velocidade instalado junto às novas instalações da RTP, onde o principal objectivo passa por tornar a gestão dos dados obtidos mais eficientes. De igual modo existe um medidor de velocidade instalado perto do Ralis onde se pretende aplicar o mesmo método.

O último ponto a ser considerado como objecto de estudo é o cruzamento entre a Av. Estados Unidos da América e a Av. Almirante Gago Coutinho onde se pretende avaliar o impacto da instalação de uma câmara de filmar ou dispositivo análogo que permita a identificação das viaturas que desrespeitam os semáforos existentes.

De igual modo pretende-se preconizar o sistema que permita a correcta gestão dos dados obtidos pelos dispositivos de monitorização e detecção de infracções.

O tema relativo ao desrespeito dos semáforos vermelhos pode vir a ser expandido a outras localizações no entanto como ponto inicial vai ser considerado o cruzamento da Av. Estados Unidos da América com a Av. Almirante Gago Coutinho dado que já ocorreu uma tentativa de implementação, que foi alvo de contestação pelos moradores alegando invasão de privacidade. O cruzamento em causa representa o caso extremo visto que estamos perante o cruzamento de duas avenidas com dimensões consideráveis onde podemos observar na Avenida Gago Coutinho três faixas em cada sentido e o mesmo cenário na Avenida Estados Unidos da América. No entanto, existe um separador central em ambas que nos poderá favorecer a implementação do sistema.

Caso seja tecnicamente viável podemos equacionar uma solução direccionada para a instalação de um sistema Lidar que permita efectuar a detecção de velocidade e o desrespeito pelo semáforo vermelhos onde o modo de captura é direccionado para a matrícula da viatura, ultrapassando deste modo o problema da invasão de privacidade, tendo sido este o motivo que levou à desactivação das câmaras existentes. O cruzamento em causa proporciona aos automobilistas que circulam no sentido descendente da Avenida E.UA a tentação de cometer

duas infracções: exceder o limite de velocidade, dado que se trata de um descida com um declive considerável onde facilmente se ultrapassa os limites imposto por lei de 50 km/h e o desrespeito pelo sinal vermelho no cruzamento, os tempos de comutação entre os sinais permitem que se passe o vermelho e se atravesse esse cruzamento. Se assim não fosse, ocorreriam acidentes a toda a hora.

No universo dos cruzamentos controlados por semáforos, existem alguns que exigem mais por parte dos condutores no momento da travagem. Isto pode ser motivado por aspectos externos ao semáforo como por exemplo visibilidade inclinação do pavimento rugosidade do pavimento, ou por diminuição do tempo de ciclo do próprio semáforo, redução do tempo de luz amarela e tempo de reacção do condutor.

Para comparar os diferentes grupos de semáforos tendo em consideração locais com redutores de velocidade e controlo da violação de semáforo vermelho, será necessário determinar a necessidade de travagem máxima. O modo de o fazer passa por equacionar a desaceleração do veículo para a constante de aceleração igual à aceleração da gravidade. O modo de cálculo da aceleração negativa usa os seguintes parâmetros:

- v_o = velocidade do veículo.
- t_y = duração do tempo de amarelo.
- t_r = tempo de reacção do condutor.
- d_i = distância da barra de stop à localização do veículo no aparecimento do vermelho.
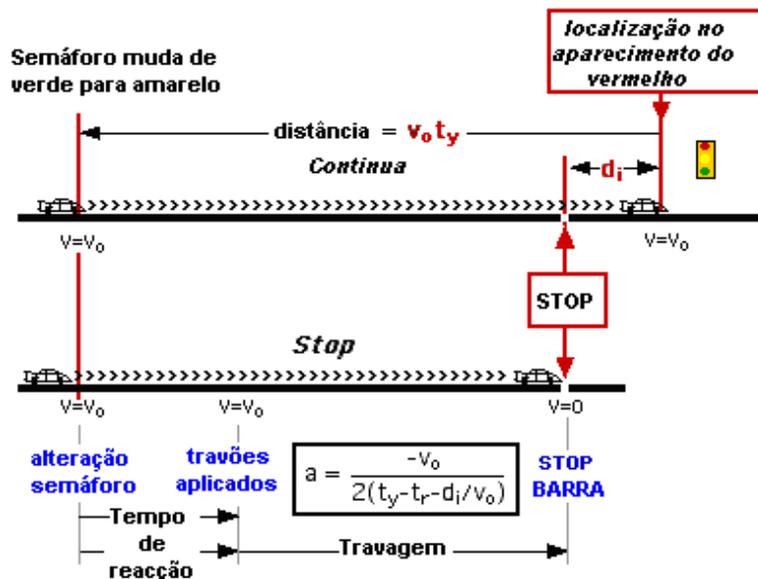
Figura 29 – Aceleração negativa

$$-a = \frac{V_0}{\left[2 \times \left(t_y - t_r - \frac{d_i}{v_0}\right)\right]}$$

Equação 1 – Cálculo da aceleração negativa (travagem)

A aceleração negativa pode ser relacionada com a constante que representa a aceleração da gravidade (g) de valor aproximado de 9,8 ms^{-2}.

$$G_b = \frac{-a}{g} \equiv G_b = \frac{V_0}{\left[2 \times g \times \left(t_y - t_r - \frac{d_i}{v_0}\right)\right]}$$

Equação 2 – Aceleração negativa G relacionada com a gravidade

À medida que o tempo do vermelho (t_y) aumenta, mais baixa terá de ser a aceleração negativa (G_b). Em condições ideais de teste onde com um condutor profissional, pneus novos em pista seca a taxa de travagem ronda o 1g, este valor é considerado travagem extrema, para valores compreendidos entre 0,8 e 0,6 travagem forte, para valores compreendidos entre 0,5 a 0,3 e moderada para valores inferiores a 0,3 é suave.
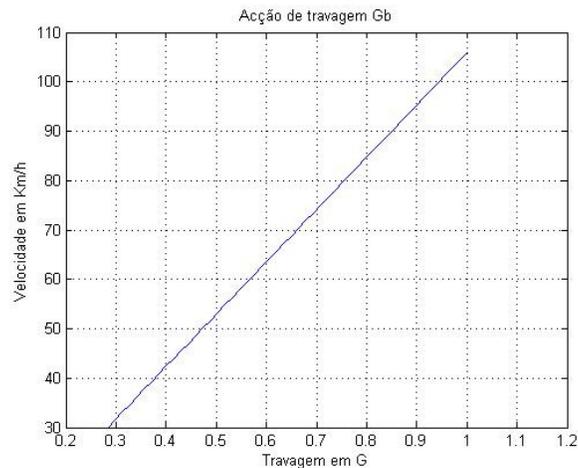
Gráfico 2 – Travagem g em função da velocidade

Na figura seguinte estão localizadas as famílias de detectores que poderão determinar as condições de fluidez do eixo (indicador de fluidez) conhecendo os parâmetros relacionados com a cadência da circulação à abertura do sinal verde, o volume de tráfego, a velocidade e a densidade. Haverá que determinar os níveis para este indicador cuja predição não asseguram um bom desempenho nos parâmetros anteriormente determinados que por sua vez iam ao encontro duma travagem moderada. Nessa situação deveria ser evitado o controlo de violação de semáforo vermelho (VSV).
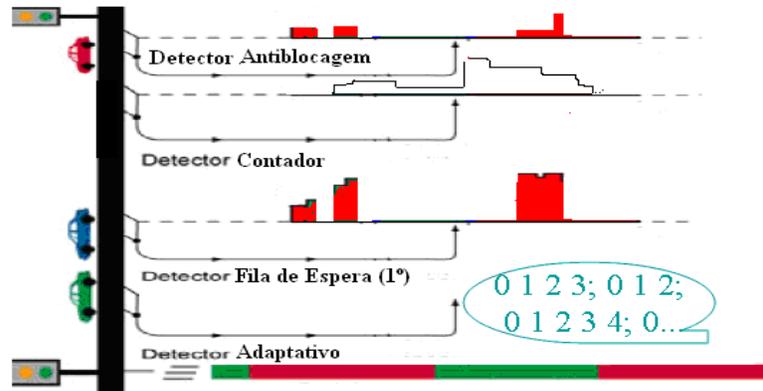
Figura 30 – Sinalização luminosa e família de detectores

Nos casos com elevado número de acidentes de notória gravidade a solução pode passar pelo aumento da temporização de amarelo. Esta situação verificou-se na instalação semafórica de voltas de acesso à passagem inferior dos Pupilos do Exército na Avenida Conde de Almoster, em Benfica. Observando os dados de saída referentes à velocidade média em cada uma das secções do sistema, ligados à pré-detecção da velocidade excessiva e consequente alerta dos condutores, confirmam que dum modo geral os indicadores de velocidade aumentam a consciência sobre as velocidades excessivas praticadas e incentivam os condutores a desacelerar e a circular em velocidades uniformes, antes de sofrerem a acção de fiscalização.

Os condutores englobados no perfil da contadora que beneficiam do tempo de verde, não estão sujeitos ao controlo de violação de semáforo vermelho (VSV). Já os condutores englobados no perfil da contadora referenciados a vermelho na figura 30, estarão sujeitos ao controlo de violação de semáforo vermelho (VSV), se as condições do indicador de fluidez estiverem asseguradas.
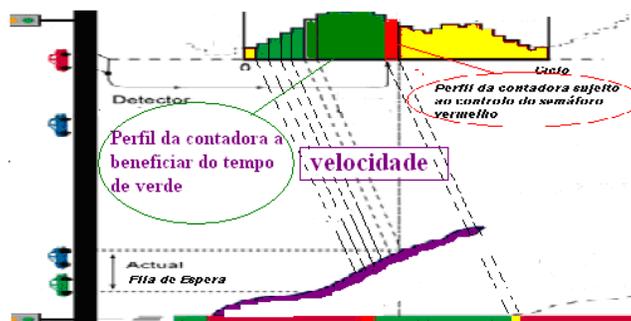
Figura 31 – Sinalização luminosa com perfis de contagem para (VSV)

A gestão dos cruzamentos assenta em grande parte no correcto dimensionamento dos semáforos. É através deste dispositivo de controlo de tráfego que, e as indicações luminosas são transmitidas para condutores e peões, promove a ordenação sequencial e cíclica, alternando o direito de passagem de veículos e/ou peões em cruzamentos de duas ou mais vias. Na Europa a taxa de instalações é de um semáforo por cada 2.000 pessoas, a seu dimensionamento obedece a alguns conceitos.

- **Movimentos**

Tipificam origem ou destino dos veículos ou peões no cruzamento, podem ser conflituantes quando se cruzam, convergentes quando têm origens diferentes e o mesmo destino ou divergentes no caso contrário.

- **Ciclo**

Tempo em segundos para uma sequência completa de todas as indicações luminosas oferecidas aos vários grupos focais. Agrupando os pelotões de veículos sem conflito em "fases semafóricas" por cruzamento, procura-se a optimização da gestão temporal e espacial dos fluxos, com recurso por vezes a uma gestão inteligente utilizando as informações dos detectores estrategicamente localizados no terreno.

- **Fase**

Sequência de indicações luminosas aplicada a uma ou mais filas de tráfego, durante o ciclo, recebendo simultaneamente indicações idênticas do semáforo. Podem existir diferentes configurações dentro de uma mesma fase.

- **Intervalo**

Períodos de tempo em que as indicações luminosas não mudam de aspecto, para um ou mais movimentos, existem os seguintes intervalos possíveis:

- Intervalo verde: indicação de verde para um ou mais movimentos

- Intervalo vermelho: indicação de vermelho para um ou mais movimentos

- Intervalo de mudança: indicação de amarelo entre verde e vermelho.

- **Tempos de segurança**

Entre fluxos pertencentes a grupos semafóricos distintos apresentando pontos de conflito no cruzamento, deverão existir tempos de segurança. O cálculo destes tempos de segurança parte das situações mais desfavoráveis entre fluxos de grupos semafóricos. O resultado é resumido na matriz de tempos de segurança, nas relações tempo de limpeza de veículo após o fim do verde semafórico que está perdendo o direito de passagem – tempo de percurso no arranque após início de verde semafórico que está ganhando o direito de passagem.

Num cruzamento, a unidade local de controlo (controlador de tráfego), envia as ordens para os semáforos e recebe as informações dos detectores no terreno.
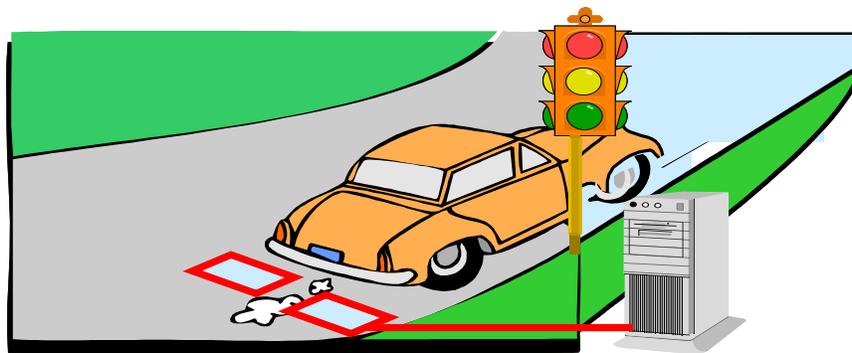
Figura 32 – Equipamento de controlo de tráfego

As representações gráficas dos movimentos veiculares e pedonais e as indicações luminosas possibilitam a visualização facilitada do funcionamento de um cruzamento semafórico e estas denominam-se de Diagramas de Fases e Tempos, conforme exemplos abaixo indicados.

O primeiro diagrama diz respeito a um semáforo genérico e isolado, este parece ser o caso mais fácil de estudar e compreender.
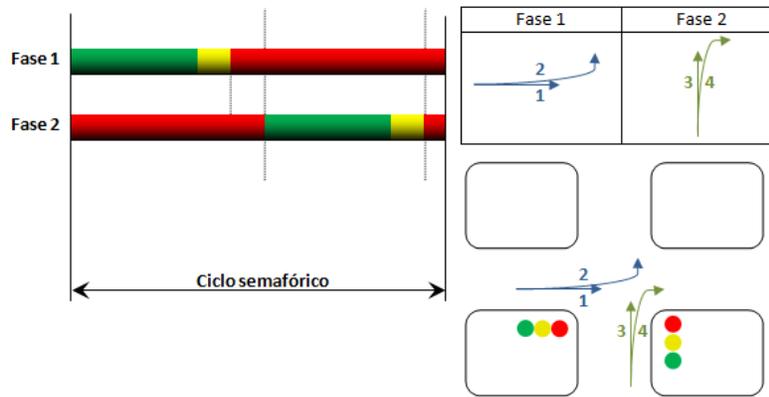
Figura 33 – Diagrama de fase e tempos para semáforo isolado
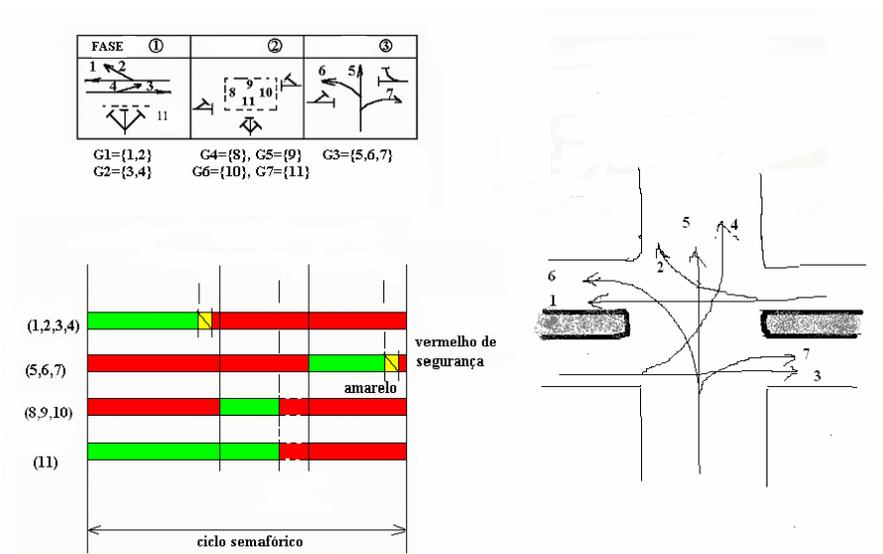
Figura 34 – Diagrama de fase e tempos

A escolha do programa de operação numa intersecção semafórica passa por determinar o esquema mais simples e seguro possível, com o menor número de fases. São demonstradas algumas possibilidades de programação, de acordo com a circulação de veículos e peões e os movimentos permitidos desejáveis em cada caso.

Um cruzamento de duas vias de sentido único de circulação terá a operação semafórica esquematizada na abaixo.
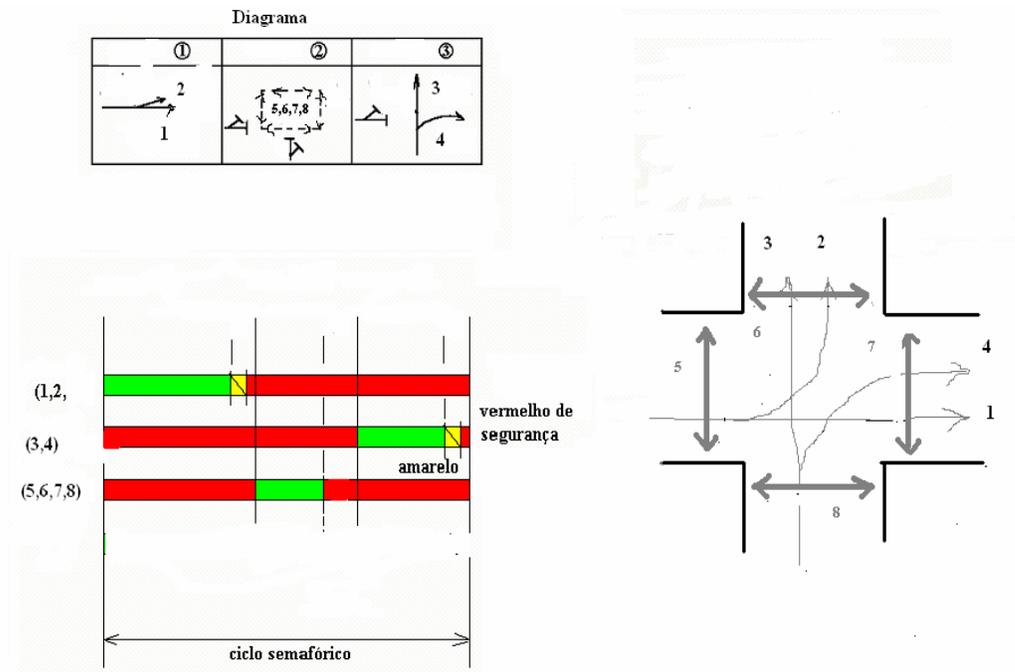
Figura 35 – Cruzamento duas vias sentido único e travessia de peões

Ao estudar-se o problema de controlo de tráfego de intersecções, é necessária efectuar uma análise detalhada das características de uma dada intersecção, observando factores tais como capacidade dos seus ramos, geometria, localização. A capacidade do ramo sinalizado é definida pelo número máximo de veículos capazes de atravessar uma intersecção num dado período de tempo. Todavia este parâmetro é desprovido de valor comparativo, pois esse conceito considera que a taxa de escoamento de veículos é igual ao fluxo de saturação. E na prática a capacidade de atendimento de um ramo interrompido por um semáforo é função do tempo de verde destinado e do fluxo de saturação do ramo.

O fluxo de saturação de uma intersecção é definido como sendo o fluxo que seria obtido se houvesse uma fila de veículos na aproximação e a ela fossem dados 100% de tempo de verde do cruzamento. Em geral o fluxo de saturação é expresso em unidades de veículos/hora de tempo de verde ou veículos/htv.

Um aspecto de interesse a ser descrito neste ponto é o aproveitamento do tempo de verde de uma dada fase. Ocorre que no início, começo de tempo de verde, há uma perda ou atraso inicial, devido ao tempo que o motorista leva para atingir a velocidade normal de operação. Nesta etapa a taxa de escoamento de veículos é baixa e à medida que o tempo passa essa taxa

vai aumentando, e após alguns segundos atinge-se um valor máximo, razoavelmente constante, chamado fluxo de saturação. Após isso, durante o término do fluxo de verde e início do amarelo, o fluxo ainda contínua máximo por alguns segundos, começa a decair, até atingir o valor zero. Torna-se evidente que o tempo de verde oferecido não é completamente utilizado, devido à perda inicial e o ganho final. São necessários mais dois parâmetros, tempo de verde efectivo e o perdido.

O tempo de verde efectivo é o período do tempo de verde no qual ocorre o fluxo máximo de veículos.

O tempo perdido é o tempo que se perde devido às reacções dos motoristas no início e no fim do tempo de verde de uma dada fase, e durante o qual não há fluxo.
Através do estudo do comportamento do tráfego real nas intersecções, fica clara a necessidade de vincularmos a capacidade de atendimento de um ramo ao fluxo de saturação e ao tempo de verde destinado.

A notação usada para a parametrização do tráfego em intersecções isoladas:

- tv: tempo de verde normal
- ta: tempo de amarelo
- tvef: tempo de verde efectivo
- C: tempo de ciclo
- tp: tempo perdido
- qS: fluxo de saturação
- Cp: capacidade

Deste modo, teremos:

$$t_{vef} = (t_v - t_a) - t_P \ [s]$$

Equação 3 – Tempo de verde efectivo em segundos

$$C_p = q_S \times \frac{t_{vef}}{C}$$

Equação 4 – Capacidade dada em veículos por hora

O dimensionamento dos tempos de verde de um cruzamento depende basicamente do conhecimento dos fluxos de saturação dos seus ramos e do tempo perdido no início e no fim do período de cada fase.

O fluxo de saturação de um ramo depende de vários factores, geometria da intersecção principalmente a sua largura, número de veículos que fazem volta à esquerda e à direita, inclinação da via e localização.

O sincronismo com outros semáforos é recomendado quando o volume de aproximação na intersecção é instável, não mantém um padrão de variação constante mas sim em função dos movimentos provenientes da intersecção anterior.

Quando os semáforos se encontram espaçados entre si a mais de 600 metros, o fluxo que sai em pelotões do semáforo a montante, tende a se homogeneizar, devidos às diferentes velocidades individuais, esta homogeneização é mais notória com o aumento da distância entre semáforos. Nesse caso os dois semáforos podem ser tratados isoladamente, não havendo necessidade de se proceder à sua sincronização.

É conhecido o critério para auxiliar na decisão da adopção da estratégia entre semáforos vizinhos, realizando previamente a análise do Índice de interdependência que indica a necessidade de coordenação semafórica entre dois cruzamentos sinalizados, os parâmetros necessários para esse cálculo são:

- t - tempo de percurso (em minutos) entre ambos os semáforos, que é o comprimento do troço dividido pela velocidade média dos veículos.
- n - número de faixas de tráfego que escoam os veículos procedentes do cruzamento anterior.
- q_{max} - fluxo directo procedente do troço anterior.
- $q_1 + q_2 + q_n$ - fluxo total que chega à intersecção.

$$I = 0{,}5 \times \frac{\left[n \times \frac{q_{max}}{q1 + q2 + \cdots qn} - 1\right]}{1 + t}$$

Equação 5 – Índice I de Interdependência

Índice de interdependência	Estratégia de funcionamento
0≤ Índice ≤ 0,35	Isolado
0,35≤Índice≤ 0,43	Isolado ou coordenado
0,43≤Índice≤ 1	Coordenado

Tabela 2 – Valores tipo do Índice de interdependência

A capacidade de programação infere ao sistema os diferentes programas de tráfego que podem coabitar na memória do sistema cabendo ao gestor de tráfego decidir a sua invocação conforme o perfil de tráfego registado, este programas devem considerar as seguintes variáveis utilizadas no controlo de tráfego:

- *Tempo de ciclo*
- *Percentagem dos tempos de verde de cada fase*
- *Desvio de fase*

Tempo de Ciclo

De modo geral, os volumes maiores ocorrem nos períodos de pico, necessitam de tempos de ciclos maiores para aumentar a capacidade e evitar o congestionamento, por outro lado causa atrasos. Fora do pico, os volumes são menores o que possibilita a redução do tempo de ciclo. Se não for possível haver variação no tempo de ciclo, deve-se dimensioná-lo para a pior cenário de tráfego, horário de pico, e fora deste período vamos obter um tempo de verde desnecessariamente grande, logo temos um atraso maior do que seria desejado, se usarmos o tempo de ciclo adequado à procura existente fora do período de pico, vamos conseguir balancear os tempos e reduzir os atrasos.

Percentagem dos tempos de verde de cada Fase

Os volumes das diferentes aproximações que chegam a um semáforo podem não se manter na mesma proporção ao longo do dia. Assim, por exemplo, numa intersecção de duas vias de sentido único, poder-se-á ter uma aproximação maior na via A que na via B no horário de pico, e, em outro horário, o inverso. Nesse caso, os tempos de verde seriam diferentes, conforme o horário do dia.

Desvio de fase

Nos casos de ruas de sentido duplo, ou de rede fechada de semáforos, muitas vezes não é possível adoptar-se o desvio de fase óptimo, pois ele pode ser óptimo para um determinado sentido e não o ser para o outro.
Na busca da melhor solução, costuma-se escolher o desfasamento que favorece o volume maior, ou uma estratégia particular.

3.1.1 Estratégias de Controlo Disponíveis

Actualmente existem três maneiras básicas de se operar um cruzamento a fim de se atender a variações de tráfego:

- Sistemas com programas de tráfego que variam segundo a hora do dia
- Sistemas com variação segundo o tráfego
- Sistema centralizado de computador

Sistemas com programas de tráfego que variam segundo a hora do dia
Em muitos casos o tráfego se comporta de maneira aproximadamente cíclica, com os volumes se vão repetindo na mesma hora do dia, para os diferentes dias da semana.
Os dias úteis têm um padrão bem definido maior e de modo geral maior volume, sendo diferente no Sábado e Domingo.

Com base neste comportamento de variações cíclicas, nos equipamentos é possível programar diferentes algoritmos de acordo com os dias e as horas mencionadas anteriormente. Tipicamente os equipamentos conseguem memorizar até nove programas distintos. Para cada grupo de controladores sincronizados, há um relógio com várias posições de ajuste, que permite escolher quais os horários de actuação dos programas. Dessa maneira pode-se agrupar os perfis de tráfego ao longo do dia, segundo sua similaridade, e utilizar-se um programa para cada período que apresente as mesmas características.

Abaixo encontra-se um exemplo de variação de tráfego ao longo do dia:

Horário	Volumes Horários	Horário	Volumes Horários
0 – 2	400	12 – 14	900
2 – 4	100	14 – 16	500
4 - 6	50	16 – 18	400
6 - 8	1000	18– 20	1100
8 - 10	1200	20 – 22	700
10 - 12	700	22 – 24	300

Tabela 3 – Variação do volume de tráfego ao longo do dia

3.1.2 Sistemas com variação segundo o tráfego

Costuma-se usar sistemas denominados actuados, nos casos em que o tráfego não tem comportamento cíclico, ocorrendo muitas variações de um dia para outro, ou ainda quando há volumes muito baixos, que apresentam grandes variações percentuais, pela própria natureza aleatória do tráfego.

Através de detecção de veículos, os sistemas actuados medem o tráfego e variam automaticamente a programação, em função das medidas obtidas. Existem dois tipos de sistemas actuados: semáforos isolados e rede de semáforos.
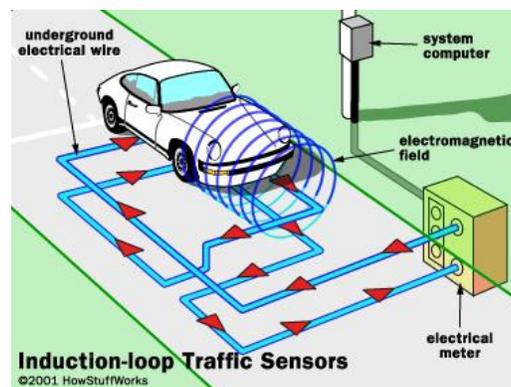
Figura 36 – Exemplo da medição de tráfego com sensores indutivos

As medidas que são usadas para monitorizar o fluxo de tráfego, são as seguintes:

- **Volume**

É o número de veículos observados, ou cuja passagem é espectável a, num determinado ponto ou secção de uma via rodoviária durante um determinado período de tempo. O volume é usado para determinar tendências do tráfego e predizer a ocorrência futura de congestão.

- **Velocidade**

É usada para descrever as operações de tráfego, porque é fácil de explicar e entender. As medidas de velocidade são feitas individualmente em vários veículos e seu resultado médio, servirá para caracterizar o fluxo de tráfego como um todo. As velocidades medidas podem ser equiparadas a valores óptimos para calcular o nível de desempenho de uma via rodoviária. Se o sistema de detectar que a velocidade média se encontra abaixo do espectável, significa que estamos perante um incidente.

- **Ocupação**

Definido como a percentagem de tempo durante o qual uma determinada secção de uma via rodoviária está ocupada por um veículo. Pode ser usada como um substituto para densidade. A medida da ocupação é feita através de detectores de presença e é bastante mais fácil de medir que a densidade. A ocupação é medida por via individual, com valores que variam de 0 por cento a 100 por cento, em que o valor máximo corresponde a ter veículos parados numa secção de via, o valor mínimo a ausência de veículos.
Embora volume, velocidade e ocupação sejam os tipos de dados registados habitualmente. Os actuais centros de gestão de tráfego utilizam outros tipos de dados.

- Tempo de viagem de um veículo.
- Localização de um veículo.
- Localização de um autocarro.
- Localização de um veículo de emergência.
- Comprimento de uma fila de trânsito.
- Estado do pavimento
- Condições atmosféricas

Nos pontos de controlo mencionados anteriormente pondera-se a utilização de novas tecnologias com a perspectiva de não entrar em rota colisão com a privacidade dos habitantes, encontrar soluções tecnológicas que permitam controlar a velocidade e em simultâneo o respeito pela sinalização vertical luminosa, semáforos.

3.2 Acções correctivas nas estações remotas

- Melhorar a gestão dos dados provenientes das estações remotas de tráfego para o controlo de informação a ser apresentada nos painéis de mensagens variadas.

- Controle de sinalização inconsistente.

- Melhorar os mecanismos de comunicação existentes nas estações remotas permitindo extensão dos sistemas de controlo no modo estacionário ao modo degradado.

- Implementar sistemas redundantes para persistência dos registos de eventos.

- Ajuste dos tempos de ciclo, e tempos de verde.

- Implementar mecanismos de vigilância electrónica e registo das infracções.

- Gestão remota do sistema

3.2.1 Painéis informativos

Se circularmos na cidade durante algum tempo e com maior ênfase para a hora de ponta deparamos que os paneis informativos muitas vezes apresentam informação que não repercute a realidade, a utilização destes painéis tem como principal objectivo a prevenção rodoviária e a redução dos congestionamentos, ao disponibilizarem informação errada estão a promover exactamente o contrário, induzindo os condutores a tomarem decisões com base em informações erradas pode causar o congestionamento dos trajectos alternativos.

3.2.2 Controlo da sinalização

A sinalização existente na cidade de Lisboa por vezes apresenta algumas falhas devido a avarias ocorridas nos semáforos com especial ênfase para os semáforos que não estão sobre a alçada do centro de controlo, este tipo de ocorrências por vezes só é detectado passado algum tempo o que pode dar origem a congestionamentos e demoras naquela zona até seja resposta a normalidade.

3.2.3 Mecanismos de comunicação

Actualmente dispõem de tecnologia capaz de aumentar a eficácia das redes de comunicações podendo optar pela combinação de diferentes tecnologias de transporte da informação de modo a reduzir os custos de implementação. Por esta via pretende-se alargar o número de intersecções sobre a alçada do centro de controlo promovendo deste modo um controlo maias eficaz das intersecções.

3.2.4 Sistemas redundantes

Existe a necessidade de garantir que os registos dos eventos ocorridos nos semáforos quer sejam centralizados ou não devem apresentar redundância no armazenamento dos mesmos, a informação contida nestes registos pode ser útil juridicamente para o esclarecimento de eventuais sinistros que tenham ocorrido. O próprio semáforo pode ficar danificado durante uma colisão ou por actos de vandalismo o que pode causar a perda da informação que nele se encontra armazenada.

3.2.5 Regulação semafórica

No universo semafórico, alguns semáforos são mais exigentes à travagem dos condutores, do que outros. A travagem depende da velocidade do veículo, do estado do pavimento, das condições atmosféricas, da duração da luz amarela, da visibilidade do local de paragem, e do tempo de reacção do condutor.

Por outro lado existem semáforos cujo tempo de ciclo é demasiado elevado ou demasiado curto o que pode causar congestionamentos ou falta de equidade de acesso à via por parte dos peões.

3.2.6 Mecanismos de vigilância

Em algumas das situações verificadas a própria localização do semáforo não é a mais correcta no caso do semáforo instalado na Av. 24 de Julho a distancia entre o semáforo da Rocha Conde Óbidos o detector de velocidade e semáforos que obriga a paragem para reduzir a velocidade é bastante diferente de uma via para a outra. O semáforo situado na via do sentido Rocha Conde de Óbidos - Largo de Santos encontra-se muito afastado do semáforo a montante cerca de 500 metros, o que permite aos condutores nesse trajecto excederem a velocidade, logo não cumpre com o principal pressuposto que levou à sua instalação, obrigar os condutores a respeitar os limites de velocidade, implementar politicas de segurança para os peões e reduzir a sinistralidade.

Em alguns dos pontos visitados no decorrer da elaboração deste trabalho constatei a existência de informação para desencorajar o excesso de velocidade. Sendo esta de carácter informativo noutros casos são semáforos actuados por sensores que ao detectarem a velocidade excessiva passam a vermelho, dado que não existe nenhum dispositivo electrónico que vigie e registe a infracções cometidas, os condutores continuam a desrespeitar a sinalização num clima de impunidade.

3.2.7 Gestão remota do sistema

Os mecanismos de gestão remota do sistema têm que ser melhorados de modo a permitir o maior número possível de operações nas estações remotas diminuindo o número de intervenções no terreno de modo a reduzir o número de recursos humanos.

3.3 Acções correctivas no centro de controlo

- Reduzir o tempo necessário para actualizar as informações dos painéis.

- Optimizar os sistemas de alarmes referentes ao estado dos semáforos

- Reduzir o tempo de elaboração dos autos e gestão documental.

- Formação de bases de dados sobre o tráfego

3.3.1 Mecanismos de comunicação

Existe a necessidade de actualizar com frequência a informação disponibilizada pelos painéis informativos que se encontram espalhados pela cidade, de outro modo não estamos a retirar o melhor proveito desta infra-estrutura.

3.3.2 Alarmes de erro

Os semáforos podem ficar fora de serviço devido a danos causados pela colisão de veículos avaria provocada pelo normal desgaste do material ou danos causados por actos de vandalismo, existe a necessidade de ser notificado sobre estes eventos de um modo rápido permitindo a aplicação das medidas correctivas apropriadas a cada caso.

O tempo decorrido desde da ocorrência da infracção até ocorra a primeira tentativa de notificação do proprietário da viatura e bastante elevado, isto prende-se com o modo como processo é elaborado.

3.3.3 Gestão documental

Ao ser detectada a infracção existem duas possibilidades: a viatura é interceptada e deste modo podemos proceder à identificação imediata do condutor, caso isso não suceda o processo vai se tornar mais lento. Após a recolha da prova fotográfica e tratamento dos dados, identificação do tipo de infracção, caso tenha sido feita a intercepção da viatura pode se levantar o auto e enviar a documentação para a Autoridade Nacional de Segurança

Rodoviária se não for o caso é necessário proceder á identificação do condutor o que pode tornar o processo lento.

O processo de identificação do condutor obriga á consulta da base de dados do registo automóvel e a conjunto de tarefas administrativas conforme esquema abaixo apresentado.
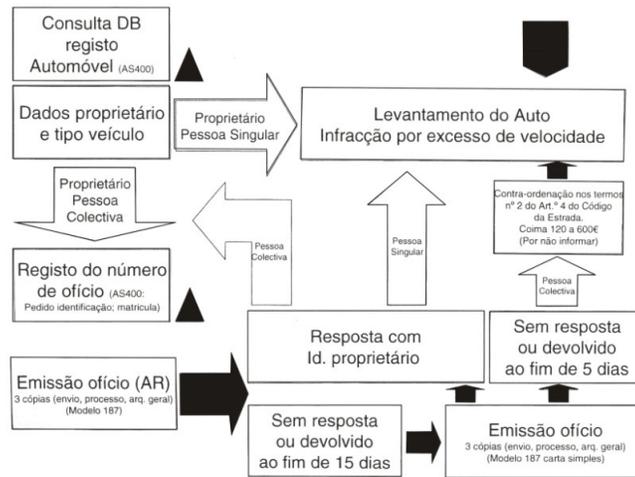
Figura 37 – Fluxograma acção de identificação do condutor

O processo de instauração do auto segue constam as tarefas mencionadas na imagem abaixo apresentada.
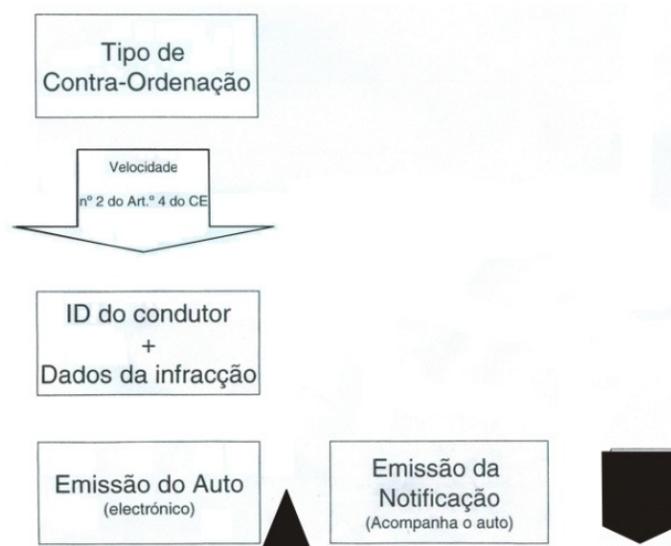
Figura 38 – Fluxograma acção do auto

3.3.4 Bases de dados

A gestão de tráfego e sua modelação assenta na análise dos fenómenos que ocorrem ao longo do tempo, sendo estes os factores geradores de um maior ou menor fluxo rodoviário, o seu conhecimento exaustivo permite antever o seu comportamento, detectar os futuros pontos críticos do sistema rodoviário, identificar os pontos com maior sinistralidade e os factores causadores da mesma.

Deste modo torna-se possível a elaboração de novos algoritmos de controlo de tráfego e predizer os cenários onde devem ser utilizados, corrigir os pontos factores predominantes dos pontos críticos.

3.4 Análise de novas soluções estações remotas

Na sequência do estudo efectuado anteriormente bem como do levantamento das necessidades de correcção detectadas nas estações remotas e no centro de controlo irei descrever as possíveis soluções a serem implementadas. Como base da análise efectuada anteriormente vou pegar nos pontos fracos evidenciados e propor novas soluções.

3.4.1 Painéis Informativos

As informações que constam nos painéis informativos provém das estações remotas ou das câmara de vigilância por vezes estão desactualizadas a solução passa por colocar sensores que de **loop** magnético configurados para detectar saturação e fila de espera no trajecto para o qual o placar informativo se refere, tentar estabelecer uma rede de comunicações rápida, robusta e eficaz de modo a propagar a informação de modo conveniente, sempre que se justifique e em pontos-chave introduzir câmaras de vigilância com complemento do sistema.

3.4.2 Controlo de sinalização

Apenas cerca de 50% dos semáforos existentes em Lisboa estão ligados à central de controlo, as falhas que possam ocorrer neste dispositivos são reportadas às entidades responsáveis bastante tempo após terem sido iniciadas o que causa cenários de incoerência na gestão dos cruzamentos, a interligação destes semáforos com a rede já existente representa um investimento considerável tendo em conta os encargos necessários para implementar uma rede física que garanta a cobertura todos os pontos onde existem semáforos. Recorrendo às tecnologias emergente no canal rádio, uma das possíveis soluções passa por criar uma pequena rede com base na norma 802.11.p, esta tem um alcance que pode atingir 1000 metros encaminhar a informação através de reencaminhamentos sucessivos até atingir uma célula que esteja ligada á unidade de controlo. Deste modo seria possível receber os alarmes provenientes dos pontos mais recônditos.

O aumento de cobertura da rede que dá suporte à gestão centralizada dos semáforos, permitia uma gestão mais eficaz dos semáforos podem efectuar tarefas de alteração do algoritmo usado e ajuste dos tempos de modo a interagir em tempo real nestes pontos, centralizar toda a alarmista associada a estes equipamentos, esta medida ia anular a anterior mas conforme foi abordado anteriormente acarreta custo elevados.

3.4.3 Gestão semáforos

A coordenação semafórica facilita a circulação do tráfego, promovendo a movimentação suave ao longo da rede, formação de pelotões com velocidades eficientes, prevenindo a formação de filas, evitando congestionamentos, atrasos e desgaste aos veículos. Esta também pode ser um modo de reduzir o consumo excessivo de combustível e preservar o meio ambiente.

O correcto dimensionamento dos semáforos tem um papel preponderante no bom desempenho do tráfego, não só na fluidez, mas também na segurança e na limitação de

velocidade. A correcta parametrização dos semáforos implica um conjunto de tarefas que passo a enumerar.

- Determinar o tempo de ciclo óptimo da intersecção.
- Calcular os tempos de verde para cada fase, função do ciclo óptimo adoptado.
- Calcular o desvio de fase entre semáforos adjacentes.

A regulação de um semáforo passa por desenvolver programas de tráfego que efectuem da melhor maneira o controlo dos veículos na intersecção, segundo os critérios estabelecidos, como por exemplo, reduzir ao mínimo possível o atraso dos veículos. A elaboração dos programas está em estreita dependência com a estratégia de controlo adoptada e com o tipo de equipamento disponível.

Passo apresentar o conjunto de técnicas de cálculo com a finalidade de determinar os parâmetros de um programa de tráfego, para operação de intersecções em tempo fixo e nos modos isolado e coordenado. Dentre os vários métodos de cálculo desenvolvidos visam sua regulação. O método de ***Webster*** é uma técnica padrão que por ser um método completo e detalhado, que possibilita a determinação dos tempos verdes e do comprimento do ciclo, causando o menor atraso possível na intersecção.

Toda a teoria deste método está fundamentada no facto dos tempos de verdes das aproximações serem divididos proporcionalmente à relação, procura de tráfego versos fluxo de saturação, valor obtido denomina-se de Taxa de Ocupação.

O tempo de verde é programado de acordo a solicitação de atendimento dos ramos. Logo quanto maior procura dos ramos de uma dada fase, maior o tempo de verde a ser programado para a mesma.

O método de ***Webster*** prevê que a determinação do tempo de ciclo deve ser feita de maneira a causar o menor atraso possível para a intersecção como um todo. Permitindo

assim optimizar o parâmetro de atraso das aproximações, para determinar um tempo de ciclo óptimo e programar os tempos de verdes dentro desse critério de desempenho.

Este método é um método de optimização do fluxo de uma intersecção isolada.

Conforme foi apresentado no tópico anterior, a capacidade de atendimento de uma aproximação interrompida depende de seu fluxo de saturação. A medida da solicitação de uma aproximação é a chamada taxa de procura. A taxa de procura Y de uma dada aproximação ou corrente de tráfego é definida como sendo a relação entre a procura de tráfego e o fluxo de saturação.

$$Y_i = \frac{q_i}{q_{si}}$$

Equação 6 – Taxa de procura

- Yi -> é a taxa de procura da aproximação i.
- qi -> procura (fluxo horário) da aproximação i, dada em veículos/h.
- qsi -> fluxo de saturação da aproximação i, dado em veículos/htv.

A taxa de procura é uma medida absoluta da solicitação de tráfego numa aproximação. Um outro conceito está intimamente relacionado à taxa de procura: o grau de regulação.

O grau de regulação de um ramo é definido como sendo a relação entre a procura de tráfego e capacidade de atendimento do ramo.

$$REG_i = \frac{q_i}{C_{p1}} \equiv REG_i = \frac{q_i}{q_{si}} \times \frac{t_{vefi}}{C} \equiv REG_i = Y_i \times \frac{C}{t_{vefi}}$$

Equação 7 – Determinação do grau de regulação REG_i

O **REG_i** indica, dentro das condições reais de operação da intersecção, o quanto a procura está próxima da capacidade horária de escoamento. Ao se alterar a proporção do tempo de verde programado, o grau de regulação será directamente modificado. Sendo assim, o grau de regulação é uma medida relativa da taxa de procura do ramo.

A coordenação de semáforos num corredor ou rede viária consiste em determinar as diferenças entre os instantes de início dos tempos de verde em cada um dos semáforos, de modo a garantir que o maior número de veículos consiga circular pela rede sem apanhar semáforos fechados.

O tempo de ciclo é um dos pré-requisitos usados no controlo coordenado. O seu valor tem que ser igual ou múltiplo para todos os controladores que se encontram interligados nas intersecções vizinhas. O controlador mestre é usado para enviar impulsos de coordenação a todos os controladores das intersecções vizinhas, e deve dispor de programas distintos para serem usados dependendo da hora e do dia da semana.

Os sistemas mais sofisticados incluem semáforos actuados que procuram manter a coordenação, assegurando que o tempo de verde da via principal não é modificado a não ser que ocorram grandes solicitações ou quebras anormais de procura nas vias que lhe são transversais.

Outro modo passa pela utilização de detectores ao longo da via principal para medir os níveis de tráfego, computar o fluxo em cada direcção como uma percentagem do fluxo da hora de ponta esperado, usar esta informação para determinar o programa que se adapta ao tráfego observado. Posteriormente, os detectores usados passaram a ser do tipo de detecção da ocupação para fazer a selecção do programa que melhor se adequa, com base nas condições de tráfego podem ser sugeridas diferentes formas de coordenação.

- Simultânea
- Alternada
- Reversa
- Flexível.

Nos modelos analíticos de coordenação, o diagrama espaço-tempo também é usado como base para a definição das variáveis mostradas nas figuras seguintes.

- C -> Duração do ciclo [s]
- R_i -> Duração do vermelho do semáforo i [s]

- x_i -> Instante referente ao centro do vermelho do semáforo i [s]
- V_{ij} ->Velocidade média de percurso entre semáforos i e j [Km/h]
- B_{ij} -> Largura da banda verde no sentido i-j [s]
- T_{ij} -> Tempo de viagem no segmento i-j [s]
- O_{ij} -> Desfasagem entre semáforos nos sentidos i-j [s]
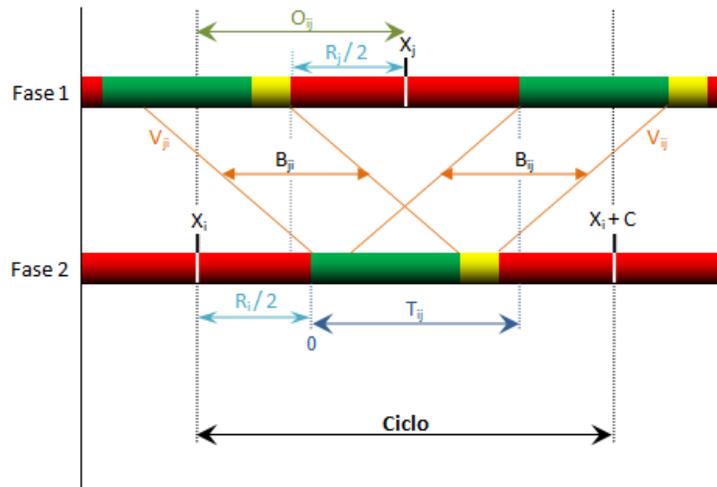
Figura 39 – Diagrama Temporal de fases de sistema coordenado

As diferentes fases, O_{ij}, entre semáforos no sentido i-j é a diferença entre os pontos centrais dos vermelhos dos semáforos i-j, de acordo com o diagrama anterior obtemos as seguintes equações:

$$O_{ij} = X_j - X_i$$

$$O_{ji} = (X_i + C) - X_j$$

Equação 8 – Diferença de fases entre dois sentidos

Consequentemente a duração de ciclo é dada por:

$$C = O_{ij} + O_{ji}$$

Equação 9 – Duração de ciclo

A duração de ciclo nos semáforos coordenados, contempla todas as fases dos sinais. Devido à necessidade de coordenar as diferentes intercepções, torna-se fulcral a

optimização do tempo, para que haja uma satisfação dos utilizadores, esta encontra-se directamente relacionada com os tempos de espera associados a paragens forçadas.

Para maximizar a satisfação dos automobilistas, no caso da coordenação flexível de semáforos, usa-se o método designado por maximização da banda verde.

Procura-se alcançar a passagem da maior quantidade de veículos por via, sem haver necessidade de paragens obrigatórias. As diferentes fases deste esquema de coordenação, serão as consideradas necessárias para a criação do efeito *Onda Verde*. Poderão ser determinadas através de cálculo numérico, de manipulação gráfica do diagrama Espaço-Tempo ou por processos computacionais.

As diferentes fases determinadas em vias de sentido único, onde se conhece a velocidade média dos pelotões de tráfego e as distâncias que separam os parem de semáforos. Para o cenário de fila formada devido aos veículos que não conseguiram ultrapassar a intersecção no ciclo anterior, deve-se considerar a fila média inicial, a sua taxa de absorção e o tempo perdido no início daquele movimento.

No diagrama espaço-tempo define-se as bandas verdes e as diferentes fases semafóricas do sistema de progressão. Inicialmente, uma linha de velocidade de progressão é proposta na direcção do fluxo, considerada e desenhada a partir da origem do diagrama. Linhas horizontais são desenhadas através do diagrama para identificar a posição de cada intersecção em relação à origem. Os períodos de verde e vermelho para a via principal ficam definidos. Do igual modo, poderemos desenhar linhas horizontais para identificar a posição de cada detector de saturação em relação à origem.

As características físicas da via ou os volumes de tráfego que nela circulam, podem aconselhar que outras velocidades sejam adoptadas nas diferentes secções do percurso em análise. A progressão aceitável, dependerá da ordem cíclica das fases das intersecções. No entanto o método de maximizar a banda verde pode ser impraticável devido a situações adversas, tais como, comprimento, dimensão dos quarteirões e velocidades.

Como alternativa aos métodos de maximização de banda, podemos recorrer ao método de coordenação que procuram minimizar a combinação de atrasos e paragens nas redes de semáforos conforme a seguinte expressão.

$$minPI = \sum_{(i,j)} \propto \times\ D_{ij} +\ \beta \times S_{ij}$$

Equação 10 – Combinação dos atrasos

- PI-> Índice de Desempenho, avaliado como medida de ineficiência do sistema.
- α e β-> Constantes que permitem o balanceamento entre atrasos e paragens.
- D -> Atraso médio por veículo.
- S -> Paragens a que os veículos foram sujeitos.

O método funciona a partir da selecção de uma intersecção, considerada crítica, para determinar o ciclo da rede semafórica. Calcula-se o tempo de verde em cada intersecção. A optimização é feita para cada um dos troços de rede viária, através de uma relação entre o atraso sofrido pelo tráfego e a diferença de fase entre os dois semáforos localizados nas extremidades do troço.

De seguida, são combinados pares de troços e calculada a relação entre o atraso e a diferença de fase em cada par. Por fim, faz-se o ajuste dos tempos de verde em cada intersecção para o índice de desempenho mínimo. O modelo de análise das paragens, pode permitir a realização da estimativa do consumo de combustível e dos níveis de emissão de gases poluentes. A avaliação destes métodos poderá levar-nos a concluir que o método de progressão pela máxima largura de banda pode ser adequado para a utilização em casos de volumes de tráfego baixos ou moderados. O método de optimização dos atrasos e paragens deverá ser utilizado para situações de elevada saturação de tráfego.

As limitações de um método, podem ser consideradas o ponto forte de outro e vice-versa. O uso combinado das duas estratégias vai conduzir-nos a melhorias significativas nas medidas de avaliação de eficiência dos sistemas semafóricos.

A partir dos diagramas espaço-tempo e dos valores de banda verde registados para ambos os sentidos de tráfego são criados os diagramas de banda verde. Eles representam a variação da largura das bandas Bij e Bji nos sentidos de tráfego i-j e j-i, respectivamente. No esquema que se segue é mostrado como as larguras, máxima e mínima, da banda e respectivas diferenças de fase, são obtidas por relações algébricas.
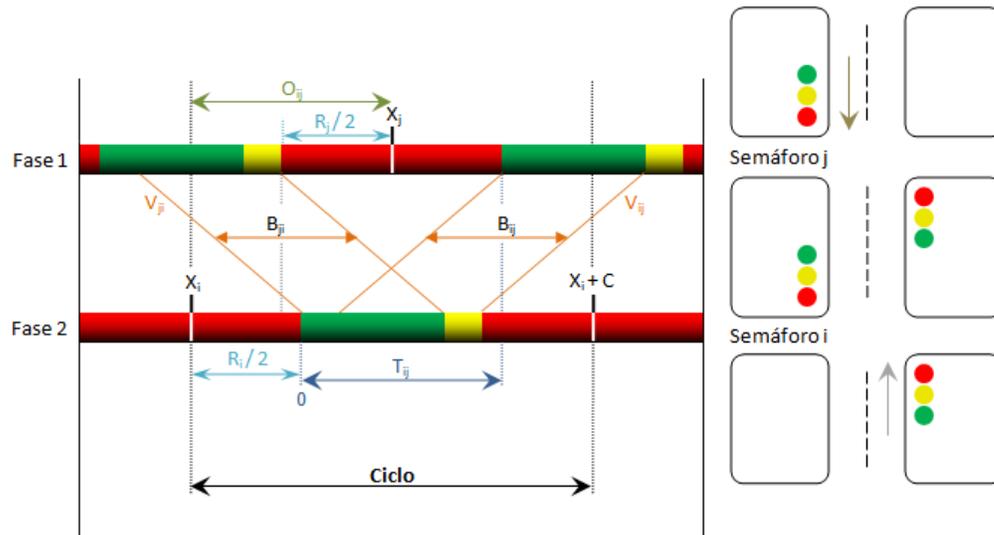
Figura 40 – Diagrama Temporal de fases de sistema coordenado

Um dos valores que pode ser importante de aferir é o número de veículos por ciclos que se pode determinar pela seguinte expressão.

$$Veiculos\ por\ Ciclo = \frac{Nº\ de\ Carrosp}{\left(\frac{3600}{Tempo\ Ciclo}\right)}$$

Equação 11 – Cálculo de veículos por ciclo

3.5 Analise dos casos de estudo gestão semáforos

Neste subcapítulo vou analisar as possíveis alterações na gestão semafórica da Av. 24 de Julho. Esta avenida situada numa zona ribeirinha e serve de ligação entre Alcântara e o Cais do Sodré numa extensão de cerca de 3,1 km conforme figura abaixo (no trajecto marcado a azul). No decorrer dos últimos anos esta avenida foi palco de um elevado número de acidentes rodoviários, desde despistes, colisões e atropelamentos alguns dos quais com perda de vida

para os seus intervenientes, a maioria destes acidentes foram causados pelo excesso de velocidade praticado nesta artéria. Em grande parte do seu trajecto os transportes públicos circulam nas suas faixas laterais junto à linha do comboio.

Por ser uma zona onde existem estabelecimentos de diversão nocturna e devido à ocorrência de alguns atropelamentos, foram colocados semáforos de controlo de velocidade entre a zona denominada por Cais da Rocha Conde Óbidos e o Largo de Santos.
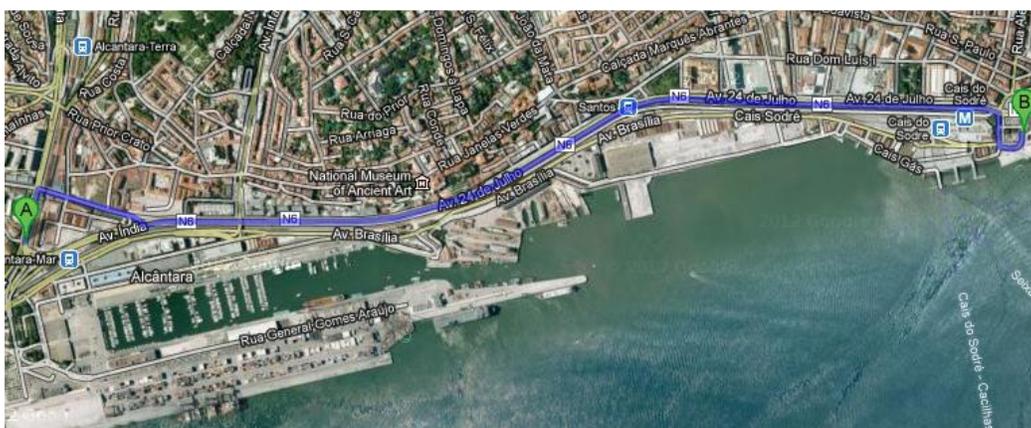
Figura 41 – Fotografia aérea da Avenida 24 Julho

Numa primeira abordagem, o sinal de controlo de velocidade instalado na Av. 24 de Julho tinha como objectivo forçar os condutores a reduzir a velocidade praticada nesta artéria, com especial ênfase para a zona onde se encontram os estabelecimentos de diversão nocturna.

Os semáforos encontram localizados em ambas as vias de circulação a medição da distância foi efectuada partindo do Largo de Santos em direcção a Alcântara o semáforo dista cerca de 300 metros do último semáforo do largo de Santos. Deste semáforo ao seguinte que se encontra na junto ao Cais da Rocha Conde Óbidos cerca de 500 metros.
Esta distancia não é equidistante o que potencia os veículos que circulam no sentido Alcântara-Largo de Santos a excederem o limite de velocidade.

Numa primeira fase o sistema foi implementado fazendo uso de um sensor de contagem de viaturas, o algoritmo implementado originalmente deixava passar um número x de viaturas ao fim das quais comutava de verde para laranja e consequentemente para vermelho. O tempo de médio de verde era de 25 segundos numa situação de tráfego intenso, típico da hora de ponta, onde os veículos circulam em pelotão compacto com pouco afastamento entre eles e velocidade reduzida. Este semáforo constituía um ponto de congestionamento, fora dessa hora o semáforo em causa ia limitando o fluxo de viaturas mas no trajecto Rocha-Largo de Santos

as viaturas continuavam a exceder o limite de velocidade logo não serve esse propósito. O semáforo de limitação de velocidade iniciava o ciclo de comutação de verde para vermelho 10 segundos após o semáforo da Rocha ter iniciado o tempo de verde. No período em que efectuei a verificação com a duração de cerca de 30 minutos ocorreram duas VSV. Certamente muitas mais ocorreram por excederem o limite de velocidade neste troço.

Passado algum tempo sobre a primeira visita a este ponto verifiquei que o algoritmo de controlo destes semáforos fora alterado. Actualmente, o semáforo de cada uma das vias encontra-se coordenado com o semáforo a montante. Tudo indica que o mecanismo usado se baseia na onda verde. Os valores agora registados são de cerca de 45 segundos para o tempo de verde e cerca de 1 minuto e 14 segundos para o tempo de ciclo. O sistema apresenta algumas flutuações nos valores obtidos devido ao sistema de auto ajuste consoante o fluxo de tráfego verificado.

De igual modo foram efectuadas medições nos semáforos que se encontram no cruzamento entre a Av. Estados Unidos da América e a Av. Almirante Gago Coutinho os valores obtidos foram de todo similares aos anteriores. Temos então o tempo de verde com cerca de 36 segundos e o tempo de ciclo na ordem de 1 minuto e 38 segundos. O cruzamento parece estar correctamente dimensionado no capítulo da condenação semafórica, detectei a ocorrência de VSV e de eventual excesso do limite de velocidade.

Em ambos os casos era de considerar a introdução de mecanismos de controlo e detecção de infracções de excesso de velocidade e VSV, numa primeira fase com uma postura didáctica e informativa.

Os valores mencionados são aproximados e medidos com o recurso ao cronómetro digital com a obtenção de cercar de 20 amostras, efectuei a média das mesmas.

3.6 Analise casos estudo mecanismos detecção

Nos casos de estudo verificados constatei que pelas mais diversas razões não foram implementados mecanismos de vigilância electrónica, ou não se encontram operacionais. Um dos motivos passa pela falta de manutenção, incompatibilidade com o respeito pela

privacidade, a sua exploração não ser economicamente viável, ou os recursos humanos necessários para garantir uma fiscalização eficaz são incomportáveis.

Estudo sobre novos métodos de detecção aplicação das novas tecnologias que permitam fiscalizar o limite de velocidade e o desrespeito pelos semáforos, uma das possibilidades era a implementação de sistemas baseados em **LIDAR** que permitem a classificação dos veículos de acordo com as classes existentes de modo a informar os condutores da impossibilidade daquela viatura circular numa determinada faixa de rodagem ou aceder a um túnel ou viaduto de modo a prevenir acidentes. Esta mesma informação sobre a classe do veículo pode ser usada para atribuição do limite de velocidade a que determinado veículo pode circular.

Existem dois pontos que podem ser indicados para aplicação deste tipo de soluções, na Av. 24 de Julho a aplicação de um sistema que detecta o excesso de velocidade e a violação do semáforo vermelho seria o mais proveitoso, fazendo uso do separador central e aproximando os semáforos de ambas as vias de modo a serem cobertos conforme imagem em anexo
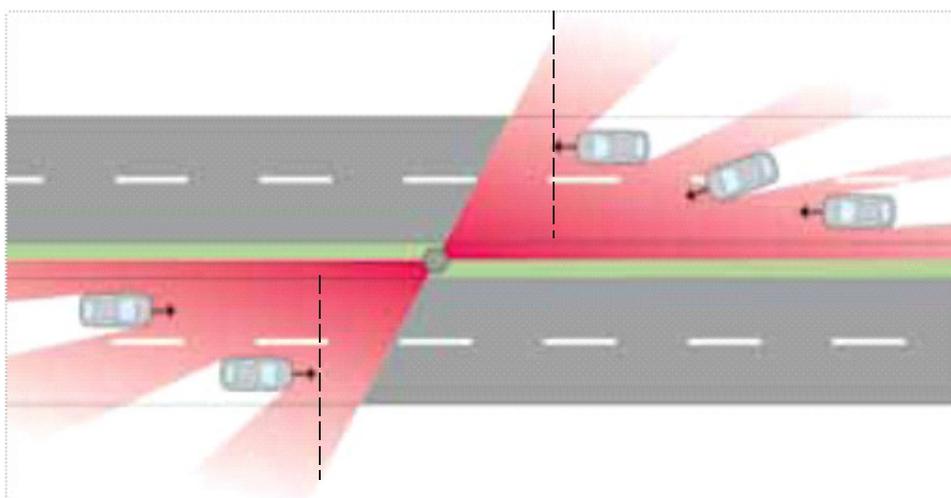
Figura 42 – Sistema de Lidar

Ao colocar os semáforos de modo a que ambas as vias se encontrem no raio de alcance do sistema, através de um único ponto de captura seria possível verificar a violação do semáforo vermelho (**VSV**) na figura anterior encontra-se demarcada a tracejado a linha virtual de paragem através da qual se consegue detectar a **VSV**.

Os sistemas baseados na tecnologia **LIDAR** permitem detectar mais do que uma infracção, podemos assim instalar um sistema que nos permite detectar o incumprimento do limite de velocidade a **VSV** nesta avenida.

A implementação deste sistema pressupõe que se altere o posicionamento dos semáforos existentes, instalação de toda a cablagem de controlo e respectivos armários de comando estudar o melhor posicionamento do sistema para prevenir actos de vandalismo, considerando a possibilidade da instalação de uma estrutura metálica do tipo pórtico.
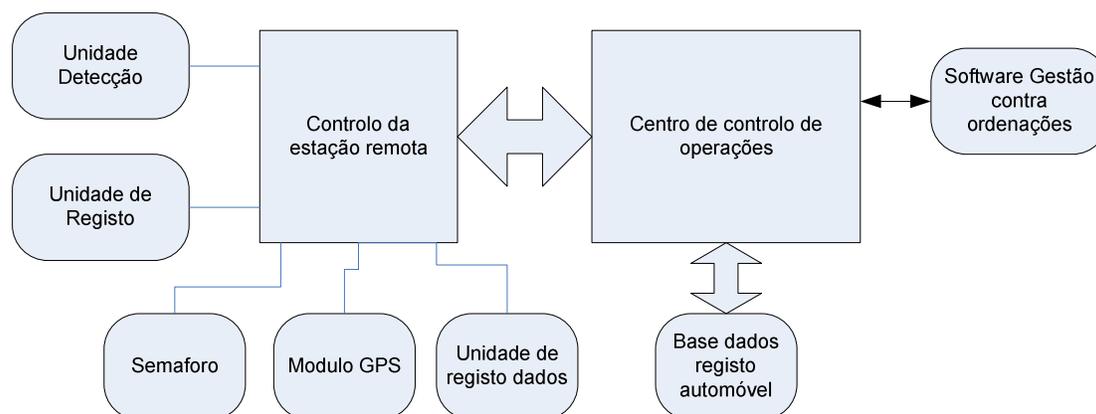
Figura 43 – Digrama blocos do Sistema

A unidade de registo é composta por uma câmara fotográfica digital com *flash* capaz de capturar a imagem dos veículos que circulem a velocidade até os 250 km por hora, o dispositivo de iluminação tem que permitir a identificação correcta do veículo em situações adversas, provocadas por alterações atmosféricas, ou redução da iluminação por operar no período de 24 horas. O sistema de *flash* deve ser to tipo infravermelho de modo a não causar perturbações no campo visual dos condutores e por em risco o normal fluxo de tráfego.

As fotografias devem ter a resolução mínima de 1280 X 1024 e qualidade suficiente de modo a serem reconhecidas através dos mecanismos de OCR, para reconhecimento automático da matrícula Os caracteres da matrícula devem apresentar uma altura mínima de 14 pixéis e máxima de 40 pixéis. A matrícula deve apresentar um contraste mínimo de 50 e máximo de 100, sendo recomendável um valor em torno de 70.

A unidade de registo de dados tem que ter a capacidade de armazenamento da informação gerada pelo sistema e de os transmitir para o centro de controlo de operações, com a

periodicidade de pelo menos duas vezes por dia, os dados devem ficar armazenados na unidade remota, com redundância a falhas de comunicação por um período de tempo ao fim do qual são apagadas desta unidade. Considerar a possibilidade do envio da informação para outra localização como meio auxiliar de salvaguarda dos dados podendo ser uma zona de armazenamento de dados alocada num sistema de ***Cloud Computing***. Nos dados deve constar a informação proveniente do sistema de GPS para validar a localização data e hora em que ocorreu a infracção.

A unidade de detecção é constituída pelo sistema de disparo accionado por um feixe de laser de acordo com a tecnologia LIDAR.

A localização do ponto de recolha de informação é feita por um periférico instalado no sistema que tem como objectivo validar a data hora e local da infracção, esta validação é efectuada por um módulo GPS.

A unidade de controlo remoto tem que providencia uma interface que permita a interligação de todos os periféricos acima mencionados disponibiliza uma interface de gestão local para correcções e parametrizações que tenham de ser efectuadas no sistema, uma interface de gestão remota para o mesmo efeito. Dado que as estações remotas passam a ter um maior volume de tráfego de dados entre estação remota e unidade de controlo existe a necessidade de optimizar a rede de comunicações entre estes pontos.

3.7 Gestão Remota

Pretende-se que as unidades disponibilizem a capacidade de serem geridas remotamente maximizando as tarefas de manutenção a serem executadas. Deste modo reduz-se as deslocações ao terreno consegue reduzir significativamente o tempo necessário por intervenção reduzindo assim os custos inerentes à deslocação e aos recursos humanos necessários.

As tarefas de manutenção encontram divididas de acordo com a sua especificidade, existem tarefas que tem como objectivo efectuar teste de modo a validar a performance e o nível de prontidão do sistema, as actividades de manutenção preventiva e programada para prevenir

falhas futuras do sistema, por último temos as actividades de manutenção correctiva e parametrização.

- Teste ao sistema

  Prende-se ter a capacidade remota para efectuar teste ao mecanismo de captura de imagem, teste de comunicação entre os periféricos e a unidade de controlo local e entre esta e o centro de controlo, verificar e apagar as mensagens de erro análise das mensagens de erro.

- Manutenção preventiva

  Executar cópia de segurança total ao sistema, gerir o espaço disponível para armazenar informação na unidade local, calibrar os sistemas de disparo, reiniciar o sistema.

- Manutenção correctiva

  Ajustes de parâmetros resolução de problemas, activar e desactivar o sistema, limite de velocidade para veículos ligeiros, limite de velocidade para veículos pesados, parâmetros de funcionamento da câmara, data, hora, modo de transferência dos dados, para o caso dos dados não serem transmitidos em tempo real, tem que se poder definir hora e periodicidade, endereço do servidor de destino.

3.8 Acções correctivas no centro de controlo

Algumas das medidas a serem implementadas no centro de controlo tem o seu complemento nas estações remotas, dado que algumas das medidas correctivas visam a maior eficácia das comunicações, uma maior abrangência da rede com todos os benefícios que isso acarreta.

Com a actualização da infra-estrutura vai permitir a rápida actualização das informações provenientes das câmaras de vigilância mantendo os automobilistas informados do estado das vias. De igual modo torna mais eficaz a gestão dos alarmes provenientes das estações remotas reduzindo o tempo de inoperância dos mesmos.

3.9 Gestão documental

No âmbito das tecnologias de informação implementar um sistema automático de reconhecimento de texto ***Optical Character Recognition*** (OCR) que permita obter a matrícula

do veículo que cometeu a transgressão, uma vez na posse destes dados e obter a correcta identificação do proprietário e emissão do respectivo alto de notificação. Em conjunto com a matrícula do veículo é necessário que conste a data e hora e loca da ocorrência.

A fotografia do veículo infractor bem como os dados inerentes á infracção cometida vão para o centro de controlo os dados no formato XML onde constam os seguintes registos provenientes da unidade remota.

- Data da infracção
- Hora da infracção
- Coordenadas GPS do de recolha dos dados
- Classe do veículo

Os dados antes de serem enviados têm que ser assinados digitalmente e encriptados através do mecanismo de chave publica chave privada. No primeiro passo os dados tem que ser assinados com a chave privada da unidade remota e depois encriptados com a chave pública que faz par com a existente no centro de controlo só assim se consegue garantir confidencialidade autenticidade e não repudio nos dados enviados.

3.10 Base dados tráfego

O conhecimento exaustivo dos diversos perfis de tráfego existentes, são uma mais-valia na prevenção bem como na implementação de medida correctivas a criação de base de dados onde se encontram tipificados os diversos perfis de tráfego constitui uma ferramenta imprescindível no seu planeamento.

Os perfis de tráfego não são estáticos ou imutáveis e sofrem alterações acompanhando a evolução da sociedade a criação de interface entre a base de dados de tráfego e os sistemas SIG permitem o melhor acompanhamento dessa evolução e a correcta actualização das matrizes origem destino, eliminando as discrepâncias e melhorando a o grau de confiança dos dados existentes, sendo estes fundamentais para o sucesso de futuras aplicações.

Através dos dados existentes na base de dados de tráfego sendo este coerentes e fidedignos podem efectuar a correcta avaliação do desempenho do sistema no que respeita à segurança e fluidez do tráfego.

4 CAPITULO IV

4.1 Resultados esperados

É espectável que como consequência das medidas implementadas se consiga reduzir o número de acidentes relacionados com o excesso de velocidade, se obtenha uma maior fluidez no tráfego rodoviário e um acréscimo da segurança para os peões. Com ajuda das novas tecnologias no âmbito do reconhecimento de imagem se consiga obter a identificação da matrícula, através da análise dos dados fornecidos pelos equipamentos de vigilância existentes, efectuado a redução significativa do tempo necessário na elaboração do alto.

A curto prazo pretende-se que a detecção dos infractores e alerta sobre a perigosidade inerente à transgressão efectuada se traduza numa redução da taxa de sinistralidade.

4.2 Melhorias Verificadas

Com base num dos pontos de estudo foi verificada uma melhoria considerável do tempo de ciclo do semáforo existente na Av. 24 de Julho. Após reprogramação efectuada no mês de Janeiro consegue-se garantir que nas horas de maior tráfego o sistema mantém o ciclo, não tende para uma situação de congestionamento. Antes da alteração efectuada existia a tendência para a diminuição sistemática do tempo de ciclo tendo como base a contagem de viaturas e o tempo entre a abertura do sinal a montante e o fecho do sinal a jusante.

4.3 Medições no terreno

No decorrer do mês de Julho foram efectuadas várias medições com o objectivo de analisar o comportamento dos automobilistas no que respeita ao limite de velocidade.
Através das leis físicas da cinemática que regulam os movimentos uniformes e rectilíneos e com o recurso a um cronómetro foi possível determinar alguns valores necessários para avaliar a prestação dos condutores.

Considerando o caso de estudo da Av. 24 de Julho no troço que dista cerca de 500 entre o semáforo da Rocha e o semáforo limitador de velocidade.
A primeira expressão a ser considerada traduz o espaço percorrido por um veículo que descreve o movimento uniforme e rectilíneo (mov.u.r), para o caso vamos considerar como aproximação o movimento rectilíneo e uniforme, como os meios que disponho sou obrigado a esta aproximação

$$s(t) = s_0 + v \times t \ [m]$$

Equação 12 – Formula que descreve o mov. u. r

Passo de seguida a apresentar as respectivas viáveis.

- s-> Traduz o espaço percorrido pelo veículo em metros
- s_0 -> Representa a posição inicial do veículo em metros
- v -> Representa a velocidade média
- t -> O tempo durante o qual estamos analisar o movimento

De modo a ser possível determinar a velocidade aproximada do veículo ao longo do trajecto de 500 metros vamos considerar que o veículo ao longo deste trajecto mantém a aceleração constante igual a zero, que inicialmente está parado no semáforo, logo a velocidade inicial é nula, e como origem para o nosso referencial o primeiro veículo parado no semáforo a montante do ponto de controlo situado junto ao semáforo de controlo de velocidade. Sabendo que o veículo circula dentro limite de velocidade, não deve exceder os 50 km/ hora.

Através da equação número doze posso calcular a velocidade do veículo dado que sei a distância a ser percorrida numa primeira análise efectuei o trajecto cumprindo com as premissas determinadas anteriormente e obtive um tempo de 38 s que corresponde a uma velocidade média de 47,3 km/h. Para facilitar a recolha dos dados vou efectuar os cálculos de modo a obter o tempo mínimo a partir do qual o condutor excedeu a velocidade de onde obtive o valor de 36 segundos.

Com base neste valor e dando uma tolerância de 10% ao valor médio da velocidade para compensar falhas na medição do tempo e o modelo apresentado não ser o mais preciso.

Refazendo os mesmos cálculos obtive o valor de 33 segundos. Todos os veículos no meu universo de amostras que percorram estes trajectos em tempos inferiores a 33 segundos circularam com a velocidade média acima do limite estabelecido por lei.
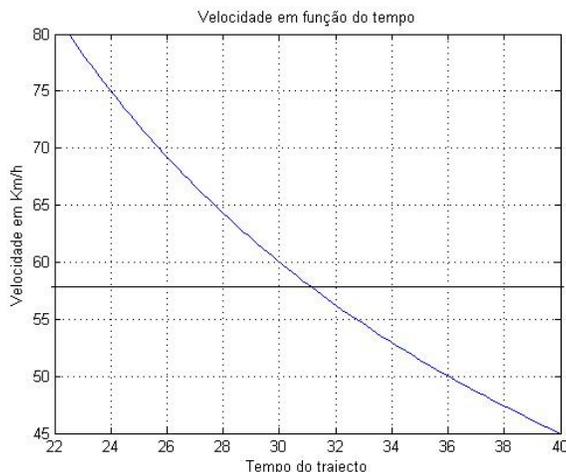
Gráfico 3 – Variação da velocidade em função do tempo

No gráfico acima apresentado consta a curva que descreve a evolução da velocidade em função do tempo que cada veículo demorou a percorrer os 500 metros, a linha a preto representa o valor médio calculo com base nas trezentas amostras verificadas.

Tabela Representativa dos valores medidos na Av 24 de Julho				
Nº	**Designação**	**N º Ocorrências**	**% de Ocorrências**	**Infracção tipo**
1	Velocidade até 55 Km/h	146	49	-
2	Velocidade de [50 a 60] km/h	27	9	Grave
3	Velocidade de [60 a 65] km/h	38	13	Grave
4	Velocidade de [65 a 70] Km/h	34	11	Grave
5	Velocidade de [70 a 75] km/h	29	10	Grave
6	Velocidade superior a 75 km/h	26	9	Muito grave

Tabela 4 – Valores medidos na Av. 24 de Julho no sentido do Largo de Santos

Os dados apresentados dizem respeito à Av. 24 de Julho e fazem onde podemos visualizar a percentagem de em função da velocidade a que circulavam os veículos e o tipo de infracção a estão sujeitos. Abaixo encontra-se o respectivo gráfico.
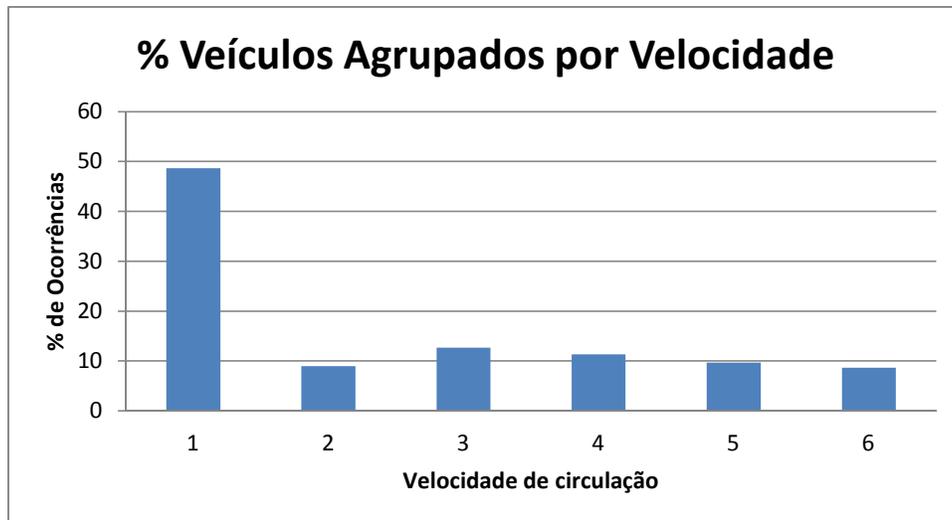
Gráfico 4 – Representação gráfica dos valores medidos

O valor médio da velocidade praticada neste troço rondas os 58 km/ h que já por representa uma violação ao código da estrada, dentro dos dados observados ocorreram caso em que a velocidade praticada rondou os 80 km/h o que se aproxima do considerado como infracção muito grave.

De modo a poder confrontar os resultados das duas vias efectuei uma análise semelhante no sentido contrário. Por razões de ordem logística, não me é possível analisar o troço de dimensão similar ao primeiro. Passo a apresentar os resultados referentes ao trajecto compreendido entre o Largo de Santos e semáforo de controlo de velocidade.
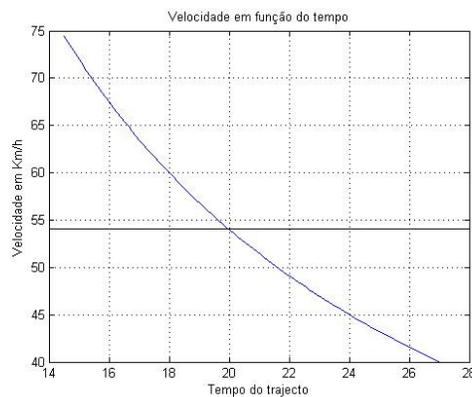
Gráfico 5 – Velocidade em função do tempo do trajecto

Na via de sentido contrário os valores apresentados rondam a mesma ordem de grandeza, no entanto o valor médio verificado é inferior, situa-se perto dos 54 km/h e o seu valor máximo próximo dos 75 km/h ou seja valores ligeiramente inferiores aos verificados na outra faixa.

Este decréscimo deve-se em parte ao facto de o semáforo antecessor ao considerado, distar deste cerca de 300. À medida que a distância entre semáforos aumenta, a velocidade média desse troço tende a aumentar.

Tabela Representativa dos valores medidos na Av 24 de Julho				
Nº	Designação	N º Ocorrências	% de Ocorrências	Infracção tipo
1	Velocidade até 55 Km/h	178	59	-
2	Velocidade de [55 a 60] km/h	39	13	Grave
3	Velocidade de [60 a 65] km/h	33	11	Grave
4	Velocidade de [65 a 70] Km/h	27	9	Grave
5	Velocidade de [70 a 75] km/h	23	8	Grave
6	Velocidade superior a 75 km/h	0	0	Muito grave

Tabela 5 – Valores da Av. 24 de Julho sentido Largo Santos – Rocha

Conforme se constata pelos valores da tabela anterior para o universo de amostragem de 300 indivíduos obtemos uma percentagem superior a circular dentro do limite de velocidade, passo apresentar o gráfico correspondente.
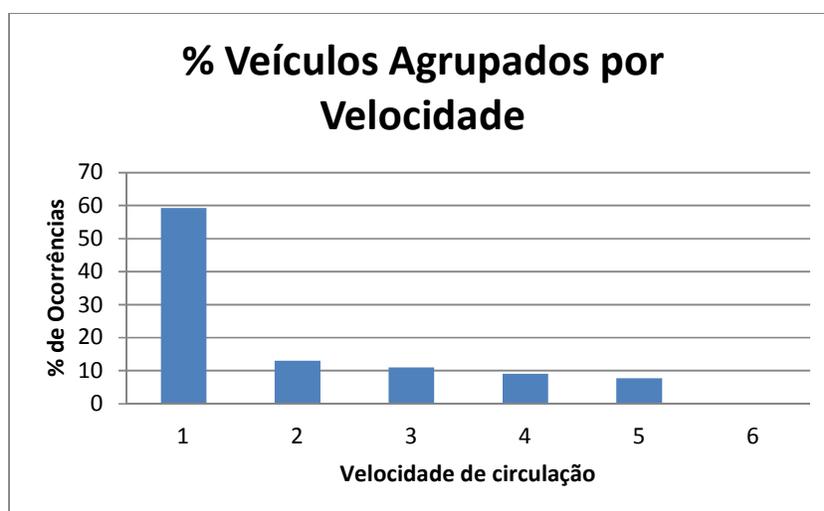
Gráfico 6 – Representação gráfica dos valores

Por comparação com os valores obtidos na via de sentido contrário verificamos que a velocidade máxima medida nesta via é inferior á anterior. Tudo indica que se deve à extensão do trajecto considerado ser menor. Quando os automobilistas se aproximam de um semáforo tem tendência a desacelerar.

No decorrer das diferentes visitas efectuadas à Av. 24 de Julho constatei a ocorrência de algumas violações do semáforo vermelho quer no semáforo em estudo quer nos semáforos a

montante e jusante no entanto, ao comparar com o número de ocorrências de excesso de velocidade, as VSV têm uma expressão pouco relevante.
Seguindo os mesmos critérios mas adaptados a outro cenário de tráfego, fui analisar o cruzamento entre a Av. Almirante Gago Coutinho e a Av. Estados Unidos da América.

O cruzamento não apresentou congestionamentos de tráfego durante os períodos de recolha de dados não foram verificadas violações do semáforo vermelho, procedi à análise do troço de uma das vias que me pareceu ser mais propício à prática de velocidades superiores.
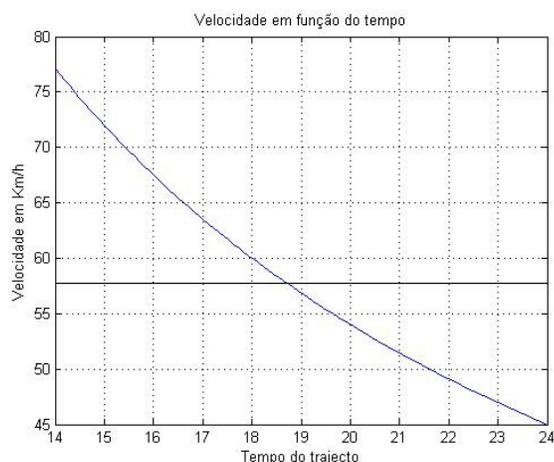
Gráfico 7 – Velocidade função do tempo do trajecto

O valor médio obtido neste trajecto ronda os 57km/h, sendo este cerca de 3 km/h superior ao verificado num trajecto de igual dimensão.

O trajecto considerado situa-se na Av. Almirante Gago Coutinho no sentido da rotunda do Areeiro para o cruzamento com a Av. Estados Unidos da América numa extensão aproximada de 300 metros. Este troço apresenta uma inclinação considerável o que potencia a ocorrência de velocidades excessivas.

Tabela Representativa dos valores medidos na Av. Almirante Gago Coutinho				
Nº	Designação	N º Ocorrências	% de Ocorrências	Infracção tipo
1	Velocidade até 55 Km/h	132	44	-
2	Velocidade de [55 a 60] km/h	48	16	Grave
3	Velocidade de [60 a 65] km/h	42	14	Grave
4	Velocidade de [65 a 70] Km/h	33	11	Grave
5	Velocidade de [70 a 75] km/h	33	11	Grave
6	Velocidade superior a 75 km/h	12	4	Muito grave

Tabela 6 – Valores referentes à Av. Almirante Gago Coutinho

Através dos dados apresentados nesta tabela podemos constatar que existe uma maior predisposição para exceder a velocidade neste troço com a dimensão de 300 metros do que no troço anterior com a mesma dimensão.
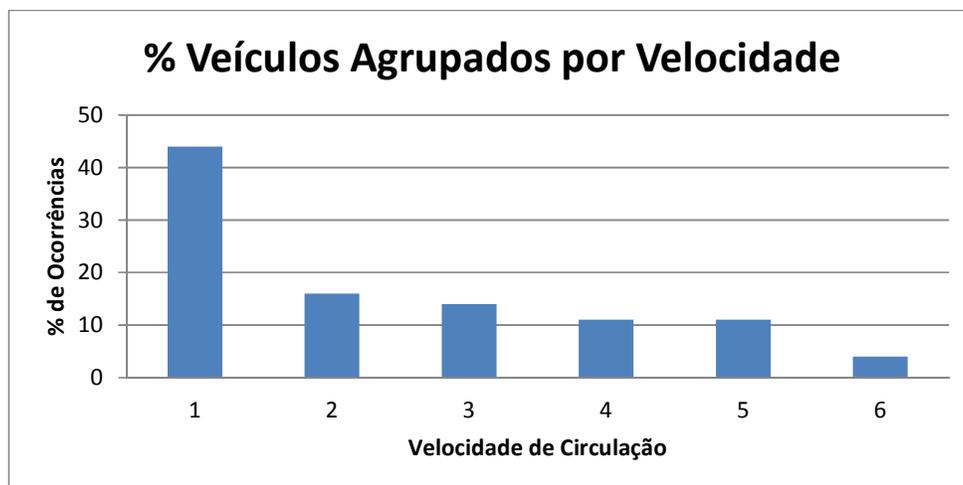
Gráfico 8 – Valores medidos na Av. Almirante Gago Coutinho

O valor médio da velocidade praticada neste troço ronda os 58 km/ h o que representa uma violação ao código da estrada, nos dados obtidos o valor máximo observado foi de 77 km/h, superior ao verificado no trajecto de dimensão igual analisado anterior no entanto apresenta-se inferior ao trajecto com 500 metros de comprimento.

As medições foram efectuadas em mais do que uma data tendo sido parte delas efectuadas entre as 17:00 e as 18:30 num dia de semana, foram também efectuadas medições durante a tarde e manhã parte dos resultados obtidos num Sábado entre as 10:30 e as 13:00 horas, com esta dispersão de recolhas consegui observar o seguinte na chamada hora de ponta as viaturas circularam dentro dos limites, ao passo que durante os períodos de menor tráfego ocorre uma maior tendência para que os limites sejam ultrapassados.

5 CAPITULO V

Conclusões Resultados Esperados

5.1 Trabalho efectuado

O objectivo deste trabalho foi analisar as possíveis soluções técnicas a serem implementadas com o objectivo de a médio prazo impor o cumprimento do limite de velocidade imposto pela lei, detectar os infractores que desrespeitam a sinalização vertical luminosa, nomeadamente a indicação de paragem imposta pelo semáforo vermelho, determinar os mecanismos necessários para terminar com o clima de impunidade actual.

Espera-se que com as medidas preconizadas os condutores comecem a ficar sensibilizados para o cumprimento das regras de trânsito, dissuadido dos comportamentos incorrectos e deste modo seja reduzida a sinistralidade com todos os benefícios associados. Actuando numa perspectiva da prevenção rodoviária.

No segundo capítulo foi elaborada uma descrição dos sistemas de controlo de tráfego existes mencionando a história da evolução dos semáforos até aos dias de hoje, passando por toda a tecnologia adjacente aos semáforos mas que é parte integrante do sistema de controlo tráfego, desde de o simples sensor até ao mais complexo sistema de vigilância electrónica. Foram referidos os passos importantes no desenvolvimento dos sistemas de controlo de tráfego na cidade de Lisboa.

No terceiro capítulo caracterizei os casos de estudo a serem analisados, abordei as diferentes estratégias que podem ser usadas para condicionar o tráfego e tentar moldar as mesmas às necessidades da cidade de Lisboa. Foram identificadas as possíveis necessidades de melhoria e mencionados os aspectos relevantes.

No quarto capítulo apresentei alguns resultados obtidos nos pontos que foram nomeados para caso de estudo.

Nas conclusões finais do trabalho efectuado mencionando alguns desenvolvimentos que podem ser acrescentados a este estudo.

5.2 Desenvolvimentos futuros

No decorrer do trabalho realizado foram detectados alguns aspectos que podem vir a ser importantes, existem outros pontos cidade que podem ser alvo do mesmo tipo de análise e posterior implementação de soluções semelhantes às apresentadas neste documento. Ao ter em linha de conta os benefícios do uso de radares de feixe laser em detrimento dos radares convencionais, o benefício da instalação dos sistemas de detecção longe dos cruzamentos ou semáforos para melhor detecção dos picos de velocidade, em vez de serem instalados em zonas de travagem ou início da aceleração.

Figura 44 – Ponto de próximo estudo

A fotografia acima apresentada diz respeito à Avenida de Brasília, conforme se pode observar existe um painel informativo que informa a velocidade praticada neste ponto pelos veículos que circulam no sentido de Alcântara, através de medições pontuais, detectei que os valores de velocidade ali praticados excedem o limite imposto por lei. No sentido contrário não existe nenhum tipo de controlo ou informação, a distância entre este ponto e o semáforo sucessor é superior a 500 metros o que torna este ponto apetecível para futuras intervenções.

Um dos aspectos que teria sido importante de analisar neste documento seriam os custos envolvidos neste tipo de implementações. Parte significativa destes custos dizem respeito à obra civil associada à abertura de valas, colocação de estruturas de fixação, pilares pórticos entre outros, existem os custos associados à estrutura metálica que por representam de igual modo uma fatia considerável dos encargos. Por último temos os custos inerentes ao equipamento a sua interligação e parametrização.

5.3 Conclusões finais

Os novos sistemas baseados na tecnologia **LIDAR** permitem efectuar a verificação das infracções cometidas em mais do que três vias em simultâneo. Na presença deste tipo de sistemas deixamos de necessitar de proceder à instalação de sensores de ***loop*** adicionais para controlo de velocidade, o que se traduz na redução de custos na instalação.

Ao produzir a prova em formato digital consegue-se agilizar o processo de identificação do proprietário do veículo, reduzindo assim a desresponsabilização pela infracção efectuada. Aumenta-se assim a eficácia do sistema reduz-se os custos relativos aos recursos humanos despendidos na fase de exploração do mesmo.

A capacidade de detectar, dois tipos distintos de contra-ordenação traduz-se numa mais-valia para estes sistemas, a possibilidade de identificar diferentes tipos de veículos, distinguindo os pesados dos ligeiros e motociclos.

Da análise efectuada nos casos de estudo considerados, depreendo que a contra-ordenação mais frequente é o desrespeito pelo limite de velocidade, a violação do semáforo vermelho é menos significativo e implica um ajuste mais fino do equipamento. Este ajuste passa pela definição de uma barreira virtual, situada a seguir à zona de paragem do semáforo.

A aplicação de parte das medidas mencionadas no capítulo três, numa primeira fase irá dar origem a um aumento do número de coimas efectivadas, posteriormente iria ocorrer a redução gradual do número de contra-ordenações, como consequência teríamos uma redução da sinistralidade. Actuando deste modo de forma preventiva e educacional para com os automobilistas.

Ao reduzir a sinistralidade está-se a promover o aumento de eficiência nos transportes de pessoas e carga dentro da cidade de Lisboa e a aumentar o nível de segurança nos transportes rodoviários.

Através de medidas dissuasores do desrespeito pelo código da estrada promove-se a redução do consumo de combustível e por consequência a redução dos níveis de poluição dentro da cidade.

Inerentes aos pontos focados anteriormente obtêm-se um incremento da segurança o que se traduz num maior aproveitamento das vias de comunicação e consequente desenvolvimento económico.

6 Bibliografia

[1] Pasanen, E, Driving Speed and Pedestrian Safety; *A Mathematical Model.* Technical Report. University of Technology, Laboratory of Traffic And Transportation Engineeringm Espoo, Filand 1992

[2] http://www.kbrhorse.net/signals/history01.html

[3] http://www.ideafinder.com/history/inventions/trafficlight.htm

[4] National Electrical Manufacturers Association. National Transportation Communications for ITS Protocol Global Object Definitions. Standards Publication No. TS3.4-1996, Washington, D.C., 1996.

[5] ITS National Architecture, Federal Highway Administration, 1998.

[6] http://www.ntcip.org/library/documents/pdf/ap-datex_980102_w2.pdf

[7] Manual de Semáforos, Denatran 1979 2ª Edição Departamento Nacional de Transito Ministério da Justiça. Brasília

[8] U.S Departmente of Transportation, "Traffic Signal Preemption for Emergency Vehicles: A Cross-Cuttinh Study", January 2006

[9] Deb K. (2001). Multi-objective Optimization using Evolutionary Algorithms. Wiley.

[10] http://www.superrifd.net "Automatic vehicle identification (AVI) and city traffic management system"

[11] Portable Differential Absorption Laser Detection and Ranging System Capable of Real Time Measurements. Dennis Liang, Department of Electrical Engineering University of Hawaii